

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Producció d'ACS d'una piscina municipal coberta mitjançant energia solar tèrmica

MEMÒRIA

Autor: Daniel López Asensio
Director: Lluís Albert Bonals Muntada
Convocatòria: Gener 2018



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

Aquest projecte estudia la viabilitat d'implantació d'una instal·lació solar tèrmica en una instal·lació esportiva existent, situada al municipi de l'Hospitalet de l'Infant. Concretament, aquesta instal·lació solar ha de cobrir un percentatge important de la demanda d'aigua calenta sanitària dels tres vasos situats a les instal·lacions, per tal de reduir la dependència de combustibles fòssils (gas natural). L'equip instal·lat actualment consisteix en dues calderes de gas natural, les quals passarien a tenir un paper d'equipament auxiliar.

Primerament s'estudia la situació geogràfica de les instal·lacions, per poder saber les condicions climatològiques que suporta i determinar de manera qualitativa el potencial que tenen per a instal·lar-hi captadors solars.

A continuació es realitza un estudi dels tancaments que envolten la sala dels tres vasos. Amb els resultats obtinguts es calculen a continuació les pèrdues tèrmiques que supleixen actualment les dues calderes de gas natural. Una vegada s'han quantificat les pèrdues de potència calorífica, es dimensiona la instal·lació solar mitjançant el mètode *f-chart*. Aquest ens permet també saber quina serà la fracció de la demanda coberta per les plaques solars. Es proposen tres solucions, però s'estudien només les dues viables.

Per últim, es fa una anàlisi econòmica de les dues solucions viables per tal d'escollir-ne la millor i es fa un petit estudi mediambiental de la reducció d'emissions que comportaria l'ús de la instal·lació dissenyada.

La solució trobada consisteix en un camp solar amb 180 captadors que permeten cobrir el 58,87% de la demanda d'aigua calenta sanitària dels tres vasos.

Sumari

RESUM	2
SUMARI	4
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
2.3. Requeriments previs	9
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte	11
3.2. Abast del projecte	11
4. DESCRIPCIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ	12
4.1. Emplaçament i dades climatològiques de la zona	12
4.2. Distribució general de les instal·lacions	15
4.3. Horaris i afluència de públic	18
4.4. Sala dels vasos	19
4.4.1. Façanes i coberta	19
4.4.2. Paret en contacte amb altres zones de les instal·lacions	21
4.4.3. Tancaments dels vasos	23
4.4.4. Taula resum de totes les superfícies	23
4.4.5. Càlcul dels coeficients de transmissió de calor K	24
5. CÀLCUL DE LES NECESSITATS D'ACS	27
5.1. Dades de partida	27
5.1.1. Condicions interiors de les instal·lacions	27
5.1.2. Condicions exteriors	29
5.2. Càlcul de les pèrdues calorífiques	30
5.2.1. Pèrdues per evaporació	30
5.2.2. Pèrdues per conducció i convecció pels murs i soleres	31
5.2.3. Pèrdues per convecció amb l'aire interior	33
5.2.4. Pèrdues per renovació de l'aigua dels vasos	34
5.2.5. Pèrdues per radiació	36
5.2.6. Resum de totes les pèrdues i guanys calorífics trobats	38
6. INSTAL·LACIÓ SOLAR TÈRMICA	41
6.1. Introducció	41

6.1.1. Subsistema de captació.....	41
6.1.2. Subsistema d'emmagatzematge.....	45
6.1.3. Subsistema de distribució.....	45
6.1.4. Possibilitats de distribució dels subsistemes.....	45
6.2. Captador solar escollit.....	47
6.3. Dimensionament de la instal·lació.....	49
6.3.1. Mètode <i>f-chart</i>	49
6.3.2. Estudi de l'espai disponible.....	51
6.3.3. Solucions proposades.....	53
6.3.4. Dimensionament per cobrir tota la demanda.....	53
6.3.5. Dimensionament per reduir la quantitat d'energia desaprofitada.....	55
6.3.6. Dimensionament segons l'estàndard.....	57
7. ANÀLISI ECONÒMICA.....	59
7.1. Pressupost de les dues solucions viables.....	59
7.2. Determinació del VAN i el TIR de les dues solucions viables.....	60
8. ESTUDI MEDIAMBIENTAL.....	63
CONCLUSIONS.....	65
AGRAÏMENTS.....	1
BIBLIOGRAFIA.....	2
Referències bibliogràfiques.....	2
Bibliografia complementària.....	2
ANNEXES.....	6
Annex 1: Plànol de la planta superior.....	6
Annex 2: Plànol del soterrani.....	7
Annex 3: Valors de $1/h_i$ i $1/h_e$ en funció de la posició i situació del tancament i del sentit del flux de calor (font: NBE-CT-79, annexes 2 i 3).....	8
Annex 4: Càlcul de pèrdues per evaporació.....	9
Annex 5: Pèrdues per conducció i convecció pels murs i soleres.....	11
Annex 6: Pèrdues per convecció amb l'aire interior.....	16
Annex 7: Pèrdues per renovació de l'aigua dels vasos.....	17
Annex 8: Pèrdues per radiació.....	19
Annex 9: Fluxos de tresoreria de les dues solucions viables.....	25

1. Glossari

ACS: Aigua Calenta Sanitària

GN: Gas Natural

kWh: kilowatt hora

K: coeficient de transmissió de calor

hi: coeficient de convecció interior

he: coeficient de convecció exterior

λ : coeficient de conductivitat tèrmica

R_t : resistència tèrmica

ρ : densitat d'un material

RITE: Reglament Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis

VAN: valor actualitzat net

TIR: taxa interna de rendibilitat

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

La idea d'aquest projecte va sorgir després d'una reunió amb els responsables de les instal·lacions de la piscina municipal de l'Hospitalet de l'Infant. En la reunió es van comentar els diferents projectes que havia en desenvolupament o no iniciats a les instal·lacions, així com les idees que l'autor d'aquest treball portava. Després de veure que la instal·lació de plaques solars tèrmiques tenia molt de potencial i que el propi tutor, el professor Bonals, donés el vistiplau, es va decidir tractar aquest tema.

2.2. Motivació

La motivació d'aquest projecte sorgeix del profund interès per part de l'autor amb tot el relacionat amb la termodinàmica i la termotècnia, així com les energies renovables. Concretament, després de calcular tota la superfície sense aprofitar al terrat de les instal·lacions i tenint en compte els bons rendiments als quals es poden arribar amb les plaques solars tèrmiques, es va concloure que era un projecte amb possibilitats no només en l'àmbit acadèmic sinó també en la realitat.

2.3. Requeriments previs

Aquest projecte ha exigit la utilització de conceptes estudiats a Termodinàmica i Termotècnia, centrats en la transferència de calor. També s'ha requerit el coneixement de fonts fiables d'informació sobre la normativa a complir, els materials utilitzats a les instal·lacions, les plaques solars tèrmiques, el funcionament dels diferents equips existents a les instal·lacions i el seu consum d'aigua i gas natural, la climatologia de l'emplaçament i l'ocupació de les instal·lacions.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és realitzar el dimensionament d'una instal·lació de plaques solars tèrmiques per produir aigua calenta sanitària (ACS a partir d'ara) destinada als tres vasos de les instal·lacions de la piscina municipal de l'Hospitalet de l'Infant, substituint així parcialment la producció de l'equipament actual d'aquestes, i estudiar la seva viabilitat econòmica d'implementació.

3.2. Abast del projecte

En el projecte es realitzarà un estudi de la piscina municipal i el dimensionament de la instal·lació solar.

Com que s'aprofitaran molts dels components de la instal·lació de producció d'ACS actual (acumuladors, canonades de distribució, calderes i filtres d'aigua), no es consideraran ni la col·locació de nous ni modificacions dels actuals.

L'enfocament acadèmic del projecte farà que tampoc es consideri el muntatge i manteniment de les plaques solars, així com l'ampliació de la xarxa de canonades necessària per fer arribar l'ACS de les plaques als acumuladors (viabilitat tècnica del projecte).

Es realitzarà un estudi econòmic el més acurat possible del projecte. La manca d'un estudi tècnic detallat d'implementació obligarà a fer aproximacions del cost.

També s'estudiarà la reducció d'emissions de CO₂ aconseguida amb la implementació de la instal·lació dels captadors solars.

4. Descripció de la instal·lació

4.1. Emplaçament i dades climatològiques de la zona

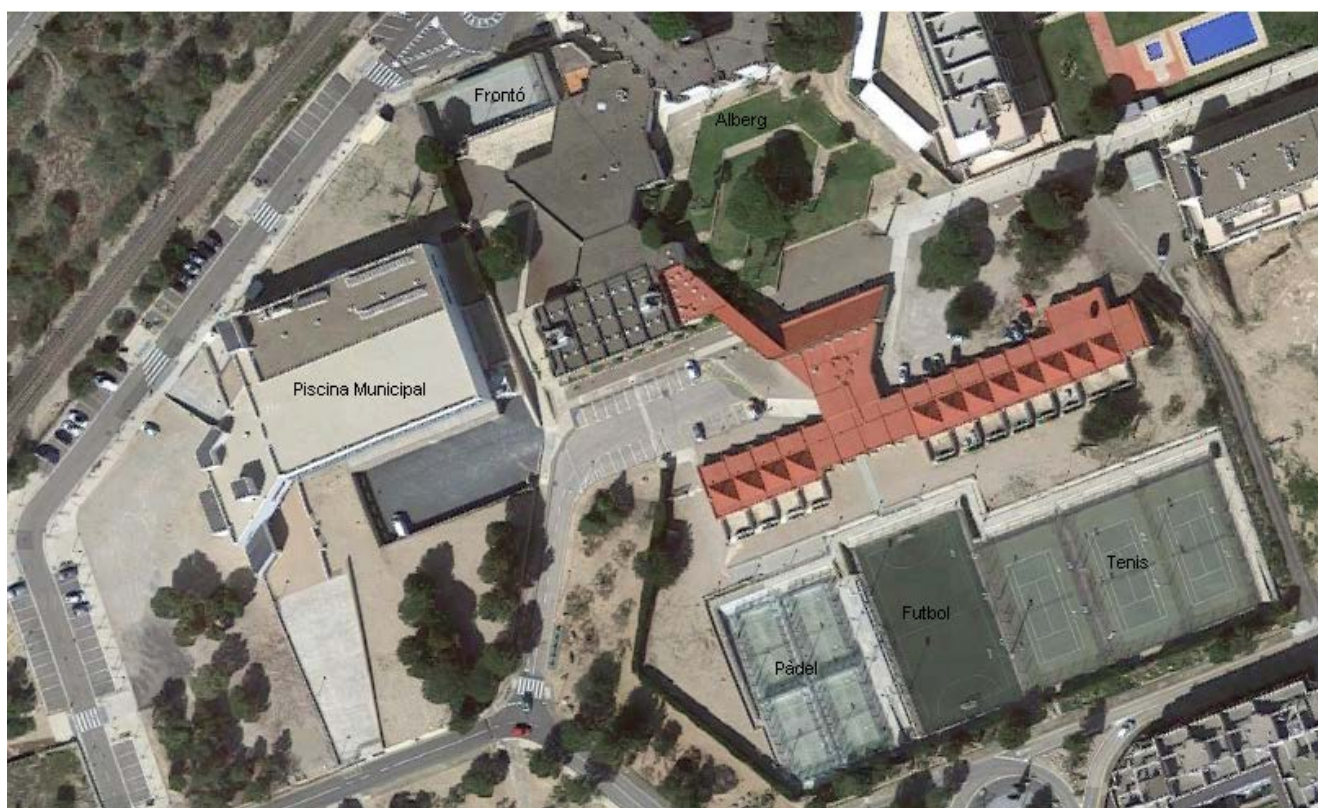
La Piscina Municipal de l'Hospitalet de l'Infant forma part de la Zona Esportiva Àster, englobada al mateix temps en la Zona Esportiva de l'Hospitalet de l'Infant (Tarragona).

La Zona Esportiva Àster està situada als afores del poble, propera a la Nacional 340 però incomunicada amb aquesta (Figura 1).



Figura 1: Emplaçament de la Zona Esportiva Àster a Hospitalet de l'Infant

A part de les instal·lacions estudiades en aquest projecte, Àster també conté una pista poliesportiva de 260 m², un alberg amb 180 places i sales polivalents, tres pistes de tennis, dues pistes de pàdel, un camp de futbol de gespa artificial i una pista de frontó (Figura 2).



Figua 2: Detall de les diferents instal·lacions a la Zona Esportiva Àster

Per tal de saber la superfície de plaques solars tèrmiques necessàries, s'ha esbrinat la radiació solar que rep la zona d'interès gràcies a la web de l'ADRASE, un organisme dependent del Ministeri d'Economia i Competitivitat que facilita dades històriques sobre la radiació solar a la zona que l'usuari vol estudiar.

Tal com podem veure a la Figura 3, la radiació global mitja diària és de 4,8 kWh/m². Però s'utilitzaran les radiacions mensuals de la Taula 1, ja que el mètode utilitzat per dimensionar la instal·lació utilitza dades mensuals.

(kWh/m ²)	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Des
Mitjana	2,2	3,3	4,6	5,7	6,9	7,6	7,7	6,3	5,0	3,3	2,3	1,9

Taula 1: Valor mitjà de la radiació global mensual (dades històriques), extretes d'ADRASE



Figura 3: Radiació global mitja a la zona d'interès, extreta d'ADRASE

Pel que fa a les condicions ambientals externes, s'ha trobat les dades històriques següents:

Mesos	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Des
T ^a mitjana (°C)	9	10,4	12,6	14,7	17,8	21,7	24,3	24,5	22,3	16,8	12,4	11,7
T ^a min. (°C)	5,3	6,1	8	10,1	13,3	17,2	19,8	20,1	17,9	13,6	9,2	6,6
T ^a máx. (°C)	12,8	14,8	17,2	19,4	22,4	26,2	28,8	29	26,7	20,1	15,7	16,8

Taula 2: Valor mitjà de la temperatura exterior mensual (dades històriques), extretes de CLIMATE-DATA.

4.2. Distribució general de les instal·lacions

Les instal·lacions contenen un gimnàs, tres piscines de diferent grandària, un jacuzzi, dues sales d'activitats dirigides, una sala de rehabilitació i dues saunes. A continuació es detalla el que es pot trobar a la planta baixa i superior així com a la coberta i al soterrani. Als annexos es poden trobar els plànols de la planta superior i el soterrani.

A la planta superior es troben el gimnàs, les dues sales d'activitats dirigides i la sala de rehabilitació. El total de superfície és d'aproximadament 900 m².

Al soterrani es troben tots els equips que escalfen i distribueixen l'ACS cap on sigui necessària. L'equipament més destacable són dues calderes de gas natural (GN a partir d'ara), dos acumuladors d'ACS i el sistema de filtratge. La superfície útil és d'aproximadament 1900 m².

A la planta baixa es pot trobar (els números entre parèntesis fan referència a la seva posició en la figura 4):

- Vestíbul (1).
- Vestuaris d'empleats (2).
- Sala de reunions (3).
- Oficina (4).
- Vestuaris masculins i femenins dels clients (5).
- Vas principal, secundari i terciari (6,7 i 8).
- Jacuzzi i saunes (9 i 10).

El total de superfície útil de la planta baixa és d'aproximadament 2000 m².

A la coberta l'únic destacable és una petita instal·lació fotovoltaica que ocupa 80 m². La superfície marcada amb graelles taronges està designada com a solàrium, tot i que actualment no s'utilitza. El total de superfície ideal, entenent "ideal" com superfície ja preparada per col·locar-hi equips, és d'uns 630 m². Descomptant la superfície ja ocupada, queden 550 m² de superfície disponible de manera immediata (sense necessitat de preparar per suportar estructures extres).

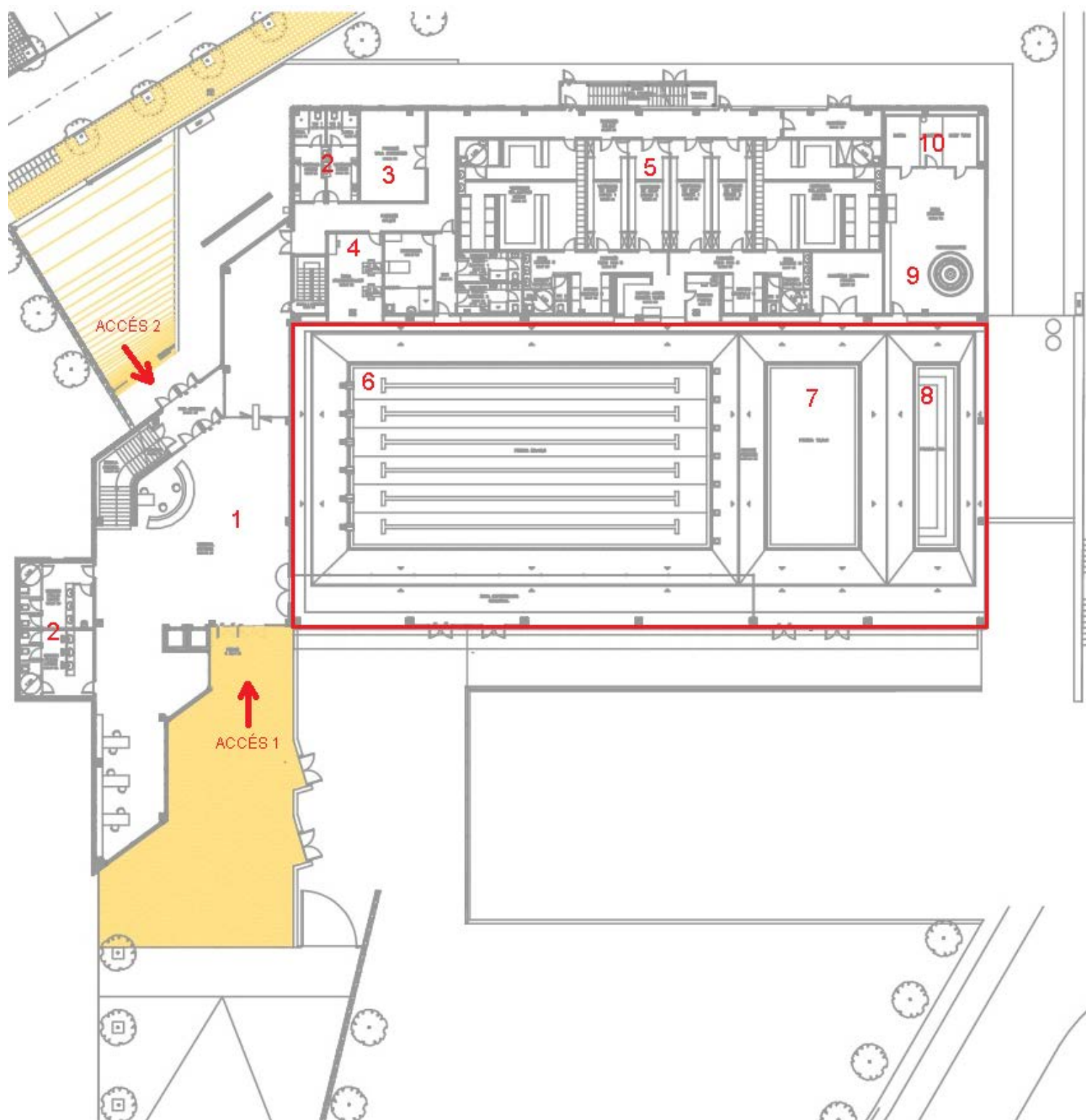


Figura 4: Plànol de la planta baixa, facilitat dels responsables de les instal·lacions.

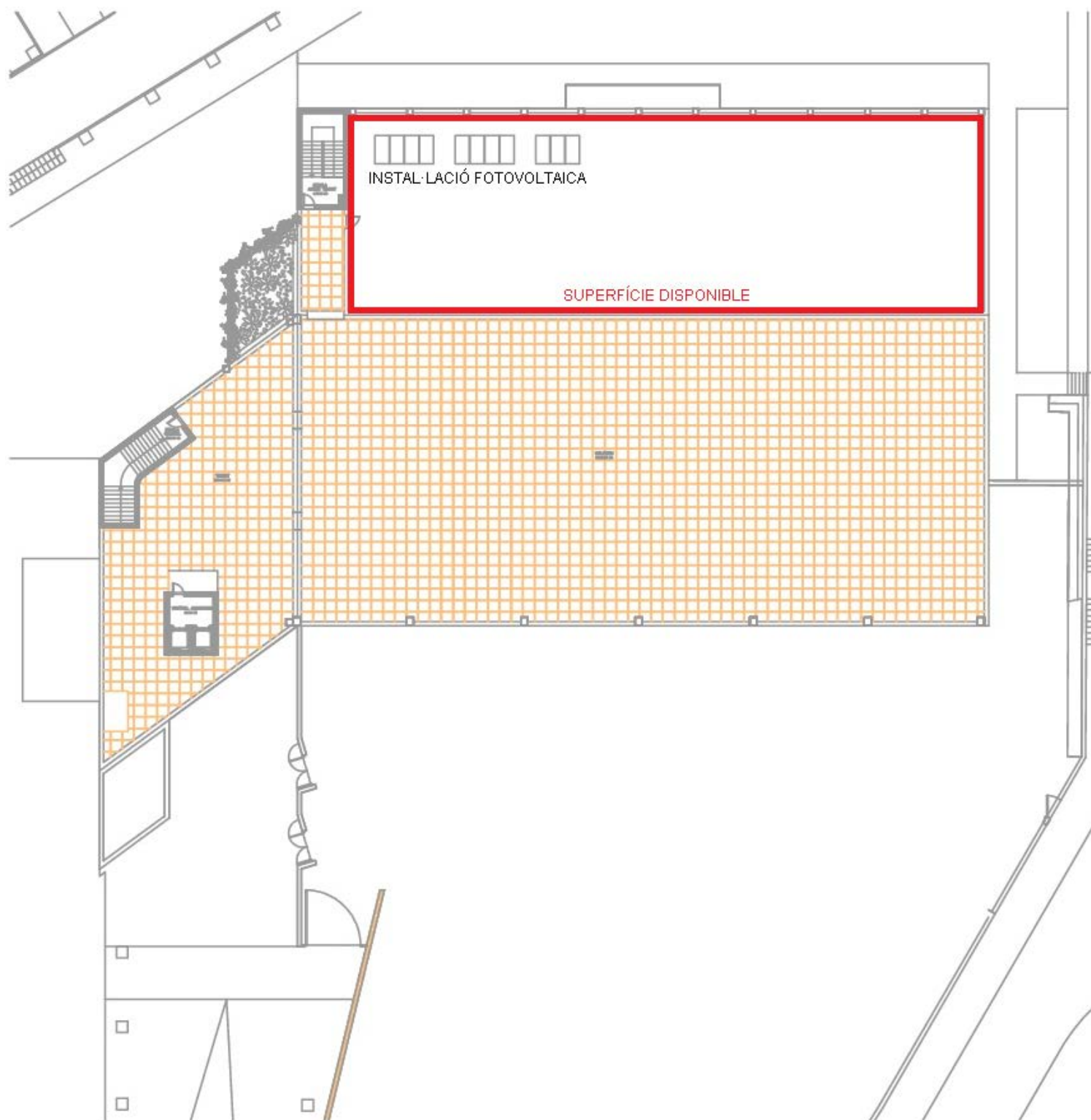


Figura 5: Plànol de la coberta, facilitat dels responsables de les instal·lacions.

4.3. Horaris i aflluència de públic

Els horaris de la Zona E. Àster són els següents:

- Dilluns a divendres: de les 8:00h a les 22:00h.
- Dissabtes: de les 9:00h a les 20:00h.
- Diumenges: de les 10:00h a les 13:00h.

A primera vista és obvi que el gruix d'aflluència serà de dilluns a divendres, s'haurà de dimensionar la instal·lació tenint en compte les dades sobre aquest gruix.

Gràcies a les dades del nombre d'usuaris segons el dia de la setmana i la franja horària de l'any 2016 facilitades pels responsables de les instal·lacions, es pot afirmar que:

- De dilluns a dijous és quan hi ha la màxima ocupació. L'any té 52 setmanes, fent la mitja d'aquests 4 dies trobem que en un dia d'alta ocupació passaran pels vasos 195 persones.

	Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
Usuaris totals	9.921	10.564	9.965	10.049	8.210	5.439	2.190

Taula 3: Nombre total d'usuaris segons el dia de la setmana (dades anuals).

- De les 17h a les 18h es troba el pic d'assistència diària. Amb el mètode anterior, s'ha trobat que l'aflluència horària màxima serà de 27 persones.

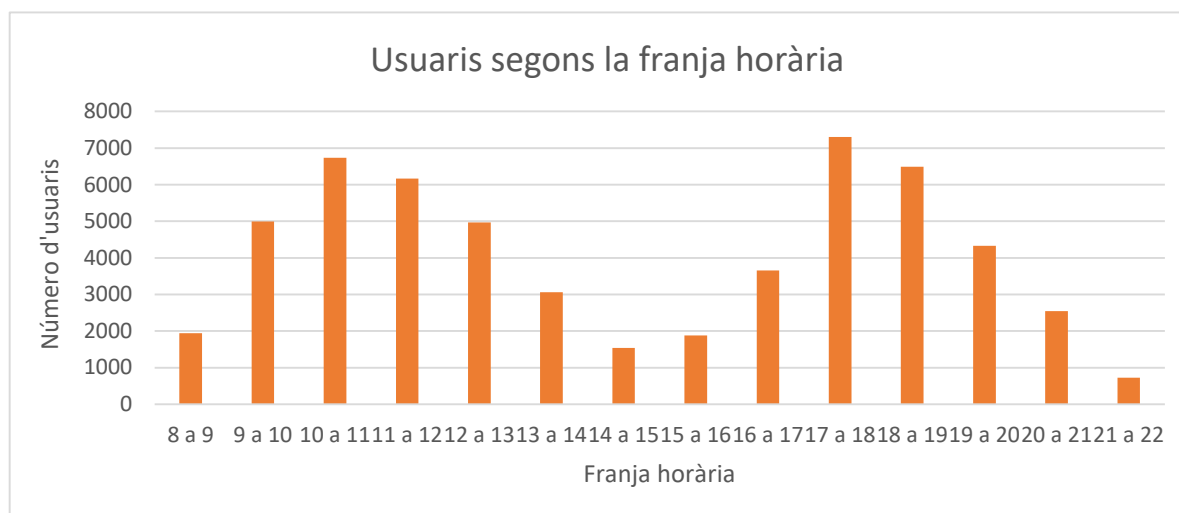


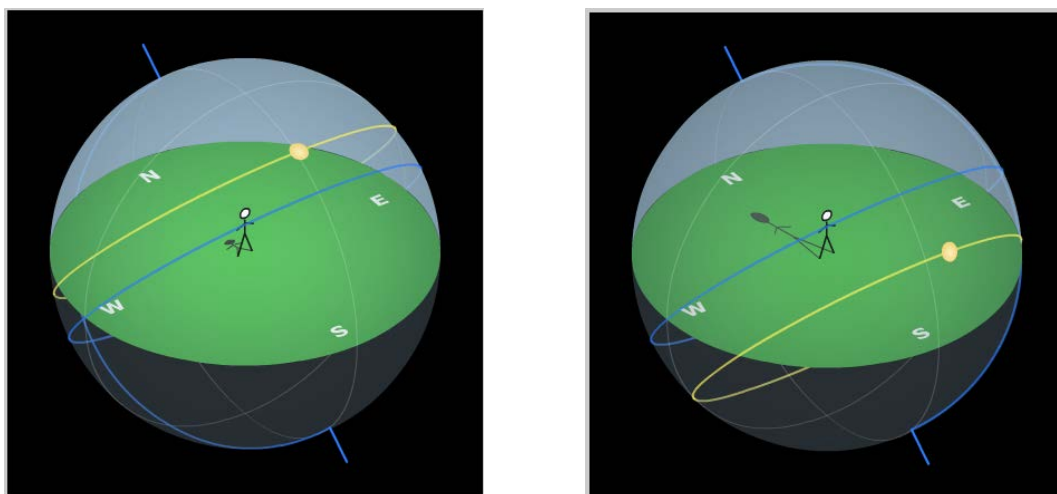
Figura 6: Nombre total d'usuaris segons la franja horària (dades anuals).

4.4. Sala dels vasos

L'objectiu d'aquest apartat és identificar què protegeix la sala on estan els vasos de les condicions ambientals d'altres zones de l'interior de les instal·lacions (per raons de confort, tant la humitat com la temperatura de l'aire són diferents) i de l'exterior, per tal de poder calcular les resistències tèrmiques que suposen i posteriorment quantificar les pèrdues calorífiques.

4.4.1. Façanes i coberta

Només es tindran en compte les façanes sud i est, ja que són les úniques d'interès per a l'estudi (són les úniques en contacte directe amb la sala dels vasos). Els tres vasos estan orientats cap al sud amb l'objectiu de rebre el màxim de radiació solar durant el dia. A l'hivern el Sol incideix de manera directa, mentre que durant l'estiu incideix quasi perpendicularment, evitant que la temperatura interior s'elevi massa. En canvi, la façana est només rep radiació solar durant les primeres hores del dia.



Figures 7 i 8: Trajectòria del Sol durant el gener i l'agost, obtinguda gràcies a una eina desenvolupada per la Universitat de Nebraska-Lincoln.

La part de la façana sud on estan els tres vasos és una gran cristallera. A les figures 9 i 10 es pot veure com està formada per 6 "blocs", cadascun dels quals conté un panell gran (1) de 3,7x2,4 metres i vuit panells petits (2) de 0,87x2 metres.



Figures 9 i 10: Foto i plànol de la façana sud.

Les finestres estan formades per una làmina de vidre de 4 mm, una cambra d'aire de 12 mm i una altra làmina de vidre de 4 mm de gruix. La part no envidrada consisteix en mòduls prefabricats formats per tres capes: 5 cm de formigó, 10 cm de porex (poliestirè expandit) i 5 cm de formigó (els elements embellidors no es tindran en compte a l'hora de fer els càlculs).

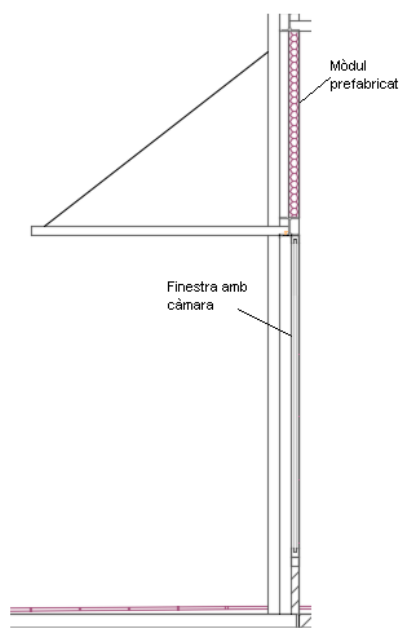


Figura 11: Secció de la façana sud.

Pel que fa a la part de la façana est que tanca la sala dels vasos, trobem tres panells de vidre (de les mateixes característiques que els explicats abans) de 6,6x1,1 metres. La resta és formigó amb un gruix de 15 cm.



Figura 12: Plànol de la façana est, amb el detall de la seva secció.

Pel que fa a la coberta, es considerarà que està formada per poliestirè expandit d'un gruix de 6 cm:

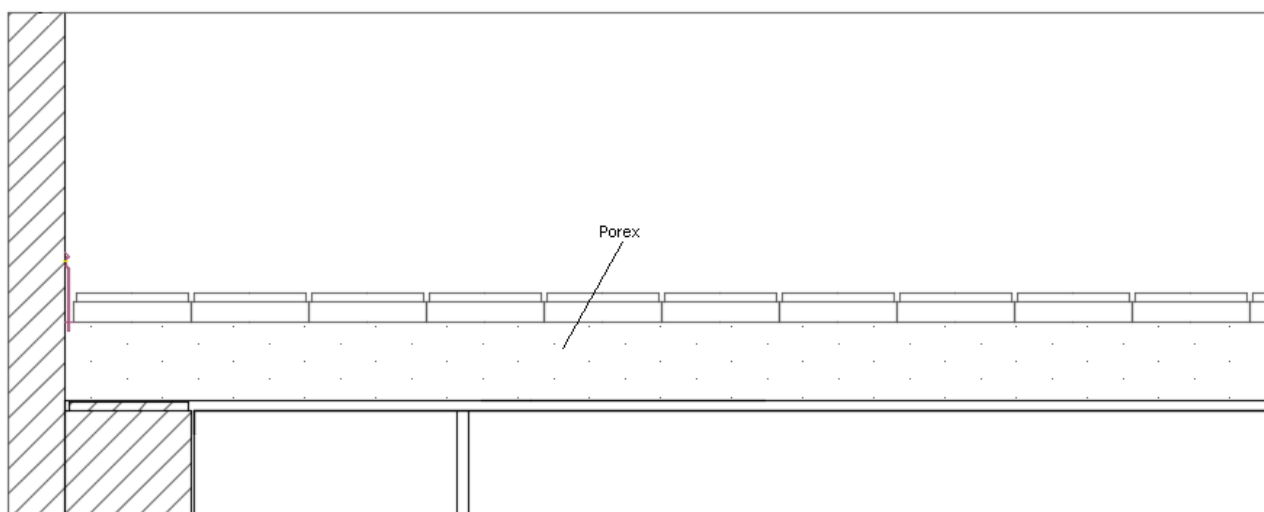


Figura 13: Secció de la coberta.

4.4.2. Paret en contacte amb altres zones de les instal·lacions

Aquesta paret està formada per vuit panells de vidre (d'iguals característiques que els anteriors) de 2x2 metres, nou panells de vidre de 2x1,3 metres i una porta (la resta és formigó de 10 cm de gruix). Aquesta porta és utilitzada només durant competicions, així que es considerarà com un panell de vidre de 1,7x2 metres. Aquesta aproximació es pot justificar si

s'observa la fig. 17 on es pot veure que la major part de la porta és vidre.

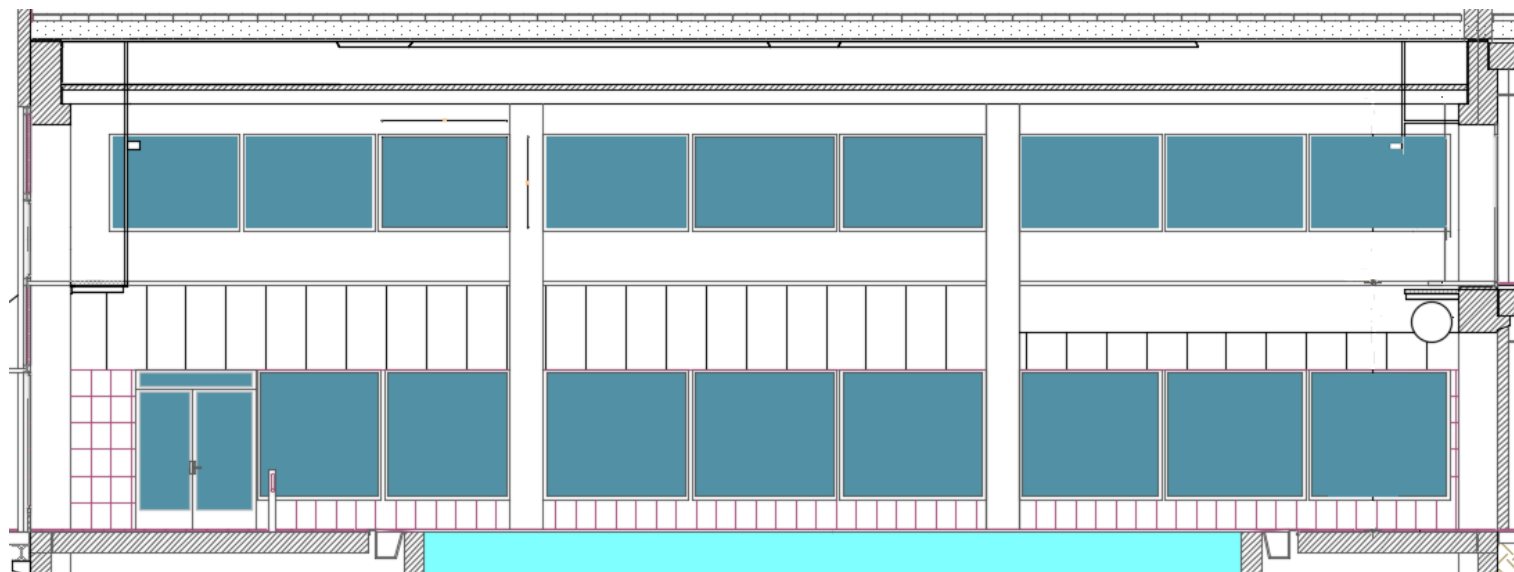


Figura 14: Vista frontal de la paret.

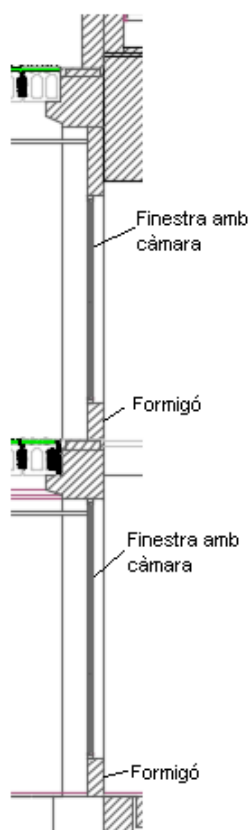


Figura 15: Secció de la paret.

4.4.3. Tancaments dels vasos

Cadascun dels vasos té les parets de formigó, amb un gruix de 20 cm. S'ha de destacar, a més, que els vasos no estan en contacte directe amb el terra sinó que estan "suspesos" en l'aire, descansant sobre una sèrie de soleres (també amb un gruix de 20 cm). Concretament, el vas gran té 7 suports i el mitjà i el petit 2.



Figura 16: Secció del vas gran.

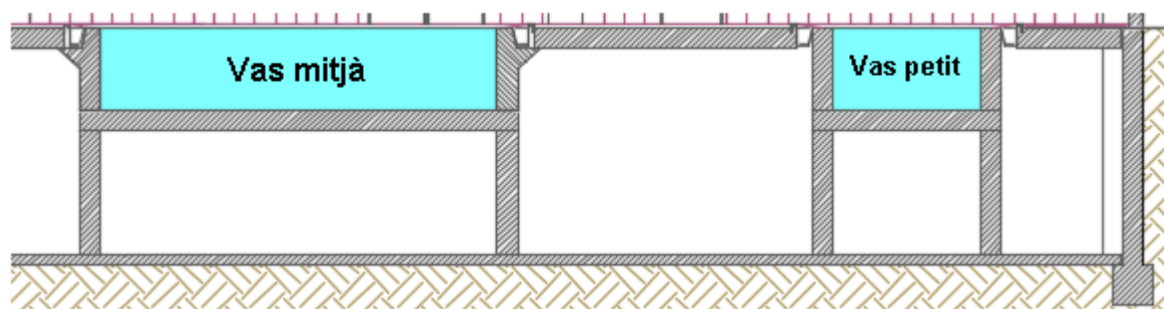


Figura 17: Secció dels vasos mitjà i petit.

4.4.4. Taula resum de totes les superfícies

A continuació es detallen les superfícies que s'han explicat als anteriors apartats, per facilitar el seu enteniment i ús a l'hora de calcular els coeficients de transmissió calorífica.

S'ha de comentar que tots els valors s'han obtingut a partir de mesures trobades als fitxers d'AutoCAD proporcionats pels responsables de les instal·lacions. És possible, per tant, que les mesures siguin una mica diferents de les reals perquè aquest programa dóna una precisió de fins a dos decimals i s'ha de considerar també que l'edifici no es manté igual ni al llarg de l'any (contraccions i dilatacions per canvis de temperatura, etc.) ni durant la seva vida útil.

Tipus de superfície [m2]	F. sud	F. est	Coberta	V. gran	V. mitjà	V. petit	Soleres	Paret altres zones
Vidre amb cambra d'aire	136,8	21,78						58,8
Formigó				462,5	119,4	74,7	636,88	66,71
Mòdul prefabricat	118,45	131,05						
Porex			1033,62					

Taula 4: Taula resum de totes les superfícies estudiades.

4.4.5. Càlcul dels coeficients de transmissió de calor K

Per trobar els coeficients K dels diferents tancaments explicats i els coeficients de convecció s'ha utilitzat informació obtinguda del Dpt. de Màquines i Motors Tèrmics de la UPV i de l'ETSEIB^{[1],[2]}:

- Cas de tancament simple: trobem un sol material homogeni. En el projecte és el cas de la coberta, la part de formigó de la façana est i les parets i soleres dels vasos.

$$Rt = \frac{1}{K} = \frac{L}{\lambda \cdot A} \quad [\text{K/W}] \quad (1)$$

On:

Rt: resistència tèrmica [K/W]

K: coeficient de transmissió de calor [W/K]

λ : coeficient de conductivitat tèrmica [W/m·K]

L: longitud de la secció del material [m]

- Cas de tancament compost: trobem una sèrie de làmines plano paral·leles de diferents materials. En el projecte és el cas del mòdul prefabricat de la façana sud.

$$Rt = \frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda \cdot A} \quad [\text{K/W}] \quad (2)$$

L'únic canvi respecte el cas anterior és que ara tenim una sèrie de materials, per això apareix el sumatori.

- Cas de tancament amb cambra d'aire: trobem una cambra d'aire entre dues làmines

d'un material (en el nostre cas, vidre). La resistència tèrmica que suposa aquesta cambra depèn de la seva amplària, el sentit del flux de calor i la seva inclinació i el moviment de l'aire del seu interior. Així, es distingeixen cambres amb poca, mitja o molta ventilació. En el projecte, es considera que tots els panells de vidre tindran poca ventilació (no hi ha orificis de ventilació):

$$R_t = \frac{1}{K} = R_i + R_c + R_e \quad [\text{K/W}] \quad (3)$$

On:

R_i : resistència tèrmica de la capa interior del tancament [K/W]

R_c : resistència tèrmica de la cambra d'aire [K/W]

R_e : resistència tèrmica de la capa exterior del tancament [K/W]

En el nostre cas, $R_i=R_e$ (és el mateix tipus de vidre) i $R_c=0,14$ K/W (valor tabulat del document de la UPV).

Els valors dels coeficients de conductivitat tèrmica λ han estat extrets del catàleg d'elements constructius del CTE (Codi Tècnic Edificació):

	Vidre	Poliestirè expandit	Formigó convencional ($\rho=2000$ Kg/m ³)
λ [W/m·K]	1,2	0,039	1,32

Taula 5: Valors de λ escollits de cada material estudiat.

Els valors dels coeficients de convecció $1/h_i$ (aire en calma) i $1/h_e$ (aire en moviment, excepte en el cas dels vasos) estan tabulats (veure Annex 3). A continuació es detallen els valors escollits en funció del tancament:

	F. sud	F. est	Coberta	V. gran	V. mitjà	V. petit	Soleres	Paret altres zones
$1/h_i$ [m ² ·K/W]	0,11	0,11	0,09	---	---	---	---	0,11
$1/h_e$ [m ² ·K/W]	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,17	0,11

Taula 6: Valors de $1/h_i$ i $1/h_e$ en funció de la posició del tancament.

A continuació podem trobar els valors de K i R_t trobats segons el tipus de tancament (s'ha suposat una àrea d'un metre quadrat, ja que hi ha superfícies comunes i no es pot generalitzar fàcilment. A l'hora de fer els càlculs s'han dividit els valors trobats per l'àrea corresponent):

	Vidres amb cambra (4-12-4)	Mòdul prefabricat	Formigó (gruix 10 cm)	Formigó (gruix 15 cm)	Formigó (gruix 20 cm)	Poliestirè (gruix 6 cm)
R_t [K/W]	0,147	2,64	0,076	0,114	0,152	1,538
K [W/K]	6,82	0,379	13,2	8,8	6,6	0,65

Taula 7: Valors de R_t i de K en funció del tipus del tancament.

5. Càlcul de les necessitats d'ACS

En aquest apartat es troba com s'han calculat les pèrdues calorífiques que la instal·lació solar haurà d'aportar a l'aigua dels vasos.

Segons la normativa (UNE100030:1994 IN), el principal problema de l'emmagatzematge de grans quantitats d'aigua és l'aparició de patògens, concretament de la legionel·la (les temperatures d'aparició van dels 20°C als 45°C). Es recomana, per tant, una temperatura de l'aigua dels dipòsits superior als 55°C, essent l'òptim 60°C. Així, es considerarà que la instal·lació haurà d'escalfar l'aigua fins als 60°C. Això permet complir la condició marcada per la mateixa normativa respecte a que la temperatura de distribució de l'aigua ha de ser superior als 50°C.

La normativa també obliga que les instal·lacions que escalfin l'aigua han de poder arribar com a mínim als 70°C per poder netejar tots els circuits de forma periòdica. No s'estudiarà si la instal·lació estarà capacitada per dur a terme aquesta neteja (caldrà considerar un cabal diferent), tot i que combinant-la amb les dues calderes de gas natural ja existents es podrà realitzar aquesta desinfecció i també s'estalviarà combustible, ja que s'hauria d'eleva la temperatura de l'aigua uns graus més (però no des de la temperatura de la xarxa de distribució).

S'ha de destacar que els fluxos d'energia trobats s'han considerat constants durant tot el dia. Per calcular les pèrdues calorífiques mensuals en kW·h, s'han multiplicat els fluxos diaris per 24 (hores del dia) i pel nombre de dies del mes.

5.1. Dades de partida

5.1.1. Condicions interiors de les instal·lacions

S'agafen els coeficients de transmissió K, les superfícies i els coeficients de convecció explicats al punt 4.

La temperatura de les instal·lacions, exceptuant la sala dels vasos, és de 25°C. L'afluència és de 27 persones/hora. D'aquestes 27 persones, el 100% passarà pel vas 1, el 80% també pel vas 2 i el 20% també pel vas 3.

Pel que fa a la temperatura de la sala dels vasos i dels propis vasos, se seguirà el Decret 95/2000 (modificat pel Decret 165/2001) i el RITE. Es considerarà una temperatura de l'aire de 30°C amb una humitat relativa (HR) del 65%, una T_1 (vas 1) de 25°C, una T_2 (vas 2) de 30°C i una T_3 (vas 3) de 32°C.

Competició	24 ° C
Entrenament	26 ° C
Ensenyament i esbarjo	25 ° C
Discapacitats físics	29 ° C
Piscina infantil	30 ° C
Nens de 3 a 6 anys i tercera edat	32 ° C
Embarassades	30 - 32 ° C

Taula 8: Temperatura de l'aigua recomanada pel RITE.

Els vasos contenen els següents volums: $V_1 = 625 \text{ m}^3$, $V_2 = 90 \text{ m}^3$ i $V_3 = 45 \text{ m}^3$. El cabal de renovació diari és del 5% del volum total per cada vas.

T (°C)	p_{sat} (kPa)	$\Delta h_{l,g}$ (kJ/kg)
0.001	0.611	2501
5	0.873	2489
10	1.228	2477
15	1.706	2465
20	2.339	2453
25	3.169	2442
30	4.246	2430
35	5.627	2418
40	7.381	2406
45	9.590	2394
50	12.34	2382

Figura 18: Propietats de l'aigua saturada. Font: Universitat de Sevilla^[3].

Segons la figura 18, s'ha considerat les calors de vaporització següents:

	Vas 1 (25°C)	Vas 2 (30°C)	Vas 3 (32°C)
L_{vap} [kJ/kg]	2442	2430	2425,2
L_{vap} [W·h/kg]	678,33	675	673,67

Taula 9: Valors de les calors de vaporització considerats.

S'ha determinat una humitat absoluta de l'aire saturat a les temperatures dels vasos $X_{s1} = 0,02 \text{ kg aigua/kg aire}$, $X_{s2} = 0,027 \text{ kg aigua/kg aire}$ i $X_{s3} = 0,03 \text{ kg aigua/kg aire}$ i a la temperatura de

l'aire de la sala dels vasos $X_a = 0,027$ kg aigua/kg aire mitjançant el següent diagrama psicomètric (simplificat):

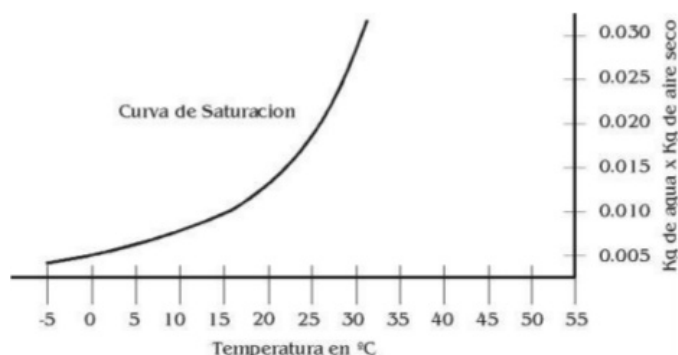


Figura 19: Diagrama psicomètric simplificat.

Pel que fa a la temperatura de l'aigua de la xarxa de distribució pública:

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Des
T ^a xarxa [°C]	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6

Taula 10: Temperatura de l'aigua de la xarxa pública a la província de Tarragona. Font: MITJÀ i SARVISÉ, ALBERT. L'energia a les instal·lacions esportives^[4].

Pel que fa a la temperatura del sol:

Mes	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Setembre	Octubre	Novembre	Desembre
T ^a sol [°C]	8	8	11	11	11	13	13	13	13	11	8	8

Taula 11: Temperatura del sol en funció del mes. Font: MITJÀ i SARVISÉ, ALBERT. L'energia a les instal·lacions esportives^[4].

5.1.2. Condicions exteriors

S'han pres les temperatures exteriors mitjanes explicades al punt 4 (condicions meteorològiques de la zona), i la temperatura de l'aigua provinent de la xarxa de distribució pública de 6°C.

	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
Barcelona [°C]	8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8

Girona [°C]	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6
Lleida [°C]	5	6	8	10	11	12	13	12	11	10	8	5
Tarragona [°C]	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6

Taula 12: Temperatura de l'aigua de la xarxa de distribució segons la província. Font: MITJÀ i SARVISÉ, ALBERT. L'energia a les instal·lacions esportives^[4].

5.2. Càlcul de les pèrdues calorífiques

5.2.1. Pèrdues per evaporació

Per calcular les pèrdues per evaporació s'ha utilitzat la fórmula de Bernier per calcular la massa d'aigua evaporada per hora (M_e), i multiplicant aquesta M_e de cada vas per la calor latent de vaporització de l'aigua (segons la temperatura del vas) s'obté la pèrdua calorífica per evaporació (q_e).

$$M_e = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (W_e - HR \cdot W_{as})] + 0,1 \cdot N \quad [\text{Kg/h}] \quad (4)$$

$$q_e = M_e \cdot L_{vap} \quad [\text{W}] \quad (5)$$

On:

S = superfície del vas [m^2]

n = nombre de nedadors per m^2

W_e = humitat absoluta de l'aire saturat a temperatura de l'aigua [Kg aigua/Kg aire]

HR = humitat relativa de l'aire

W_{as} = humitat absoluta de l'aire saturat a temperatura de l'aire interior [Kg aigua/Kg aire]

L_{vap} = calor de vaporització de l'aigua en funció de la temperatura de l'aigua [$\text{W} \cdot \text{h/Kg}$]

N = nombre d'espectadors (s'ha considerat 0 a l'hora de calcular les pèrdues)

El coeficient 16 fa referència a quan la piscina està sense agitar, i el 133 a quan està agitada.

S'ha de destacar que aquest tipus de pèrdues són iguals a tots els mesos, ja que no es veuen afectades per les condicions exteriors.

Aplicant les equacions (4) i (5) s'ha trobat el següent (a l'Annex 4 es poden trobar les operacions realitzades per calcular les pèrdues al mes de gener):

	Vas 1		Vas 2		Vas 3	
Mes	q_e [W]	Q_e [kWh]	q_e [W]	Q_e [kWh]	q_e [W]	Q_e [kWh]
Gener	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Febrer	14.279	9.595	26.235	17.630	10.610	7.130
Març	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Abril	14.279	10.281	26.235	18.889	10.610	7.639
Maig	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Juny	14.279	10.281	26.235	18.889	10.610	7.639
Juliol	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Agost	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Setembre	14.279	10.281	26.235	18.889	10.610	7.639
Octubre	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894
Novembre	14.279	10.281	26.235	18.889	10.610	7.639
Desembre	14.279	10.624	26.235	19.519	10.610	7.894

Taula 13: Valors de q_e calculats.

5.2.2. Pèrdues per conducció i convecció pels murs i soleres

Per calcular les pèrdues per conducció per la part inferior dels vasos, s'utilitzaran les equacions del llibre de Termodinàmica de l'ETSEIB (professor Bonals)^[1]. Concretament, les equacions corresponents al càlcul de fluxos de potència de conducció i convecció:

$$q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_t} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{\lambda \cdot A}} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

$$q_{conv} = h \cdot A (T_{superfície} - T_{fluid}) \quad [W] \quad (7)$$

On:

T_1-T_2 : és la diferència de temperatures entre les dues superfícies per on passa el flux de potència [$^{\circ}C$ o K]

R_t : resistència tèrmica de la paret per on passa el flux [K/W o $^{\circ}C/W$]

h : coeficient de convecció superficial de la superfície que bescanvia calor amb el fluid. En el nostre cas, el fluid serà aire o aigua [$W/K \cdot m^2$]

A : àrea de la superfície que bescanvia calor amb el fluid [m^2]

Als tres vasos, el flux de potència calorífica (pèrdues) passarà per dues vies. Una via seran les parets i les soleres de formigó que conduiran el flux cap a terra, i una altra via d'escapament de la calor serà el que es bescanviarà per convecció entre la solera i l'aire de la sala on estan recolzats els vasos.

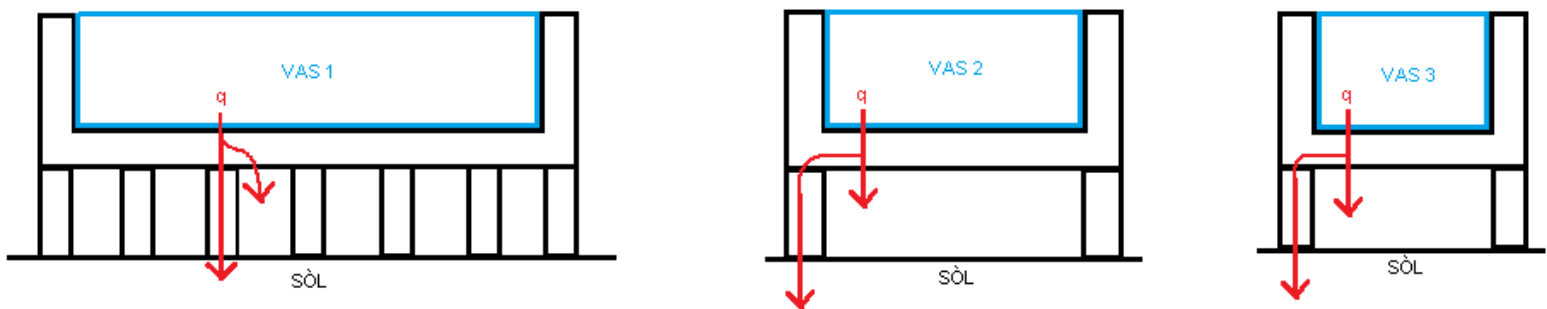


Figura 20: Esquema de com el flux de calor escapa dels tres vasos.

En aquestes pèrdues si es pot trobar una variació segons el mes, ja que la temperatura del sòl va canviant segons el mes.

A l'annex 5 es pot trobar la metodologia de càlcul i els càlculs numèrics fets, així com un mètode alternatiu de càlcul d'aquestes pèrdues proposat per l'Albert Mitjà (s'ha optat pels resultats obtinguts utilitzant les fórmules de Termodinàmica^[1]) per al mes de gener.

Les pèrdues per conducció i convecció són:

	Vas 1		Vas 2		Vas 3	
Mes	$q_{\text{conv i cond}} [\text{W}]$	$Q_{\text{conv i cond}} [\text{kWh}]$	$q_{\text{conv i cond}} [\text{W}]$	$Q_{\text{conv i cond}} [\text{kWh}]$	$q_{\text{conv i cond}} [\text{W}]$	$Q_{\text{conv i cond}} [\text{kWh}]$
Gener	25.495	18.968	8.178	6.084	4.733	3.521
Febrer	25.495	17.132	8.178	5.496	4.733	3.181
Març	20.996	15.621	7.063	5.255	4.141	3.081
Abril	20.996	15.117	7.063	5.085	4.141	2.982
Maig	20.996	15.621	7.063	5.255	4.141	3.081
Juny	17.996	12.957	7.063	5.085	3.747	2.698
Juliol	17.996	13.389	6.319	4.701	3.747	2.788
Agost	17.996	13.389	6.319	4.701	3.747	2.788
Setembre	17.996	12.957	6.319	4.550	3.747	2.698
Octubre	20.996	15.621	6.319	4.701	4.141	3.081
Novembre	25.495	18.356	8.178	5.888	4.733	3.408
Desembre	25.495	18.968	8.178	6.084	4.733	3.521

Taula 14: Pèrdues calorífiques per conducció i convecció a la part inferior dels vasos.

5.2.3. Pèrdues per convecció amb l'aire interior

Per calcular aquestes pèrdues s'ha utilitzat l'equació (7) introduïda en l'apartat anterior. No s'han considerat pèrdues pels tancaments (flux de calor de l'aigua dels vasos a l'exterior), ja que en el balanç global d'energia de la sala dels vasos és l'equip de climatització el que manté els 30 °C de l'interior i per tant el que supleix aquestes pèrdues.

En aquest cas, les pèrdues no varien segons el mes, ja que l'aire de la sala dels vasos es manté sempre a la mateixa temperatura. A l'annex 6 podem veure els càlculs efectuats de forma detallada sobre el mes de gener.

Les pèrdues per convecció són (els nombres negatius indiquen un guany de calor):

	Vas 1		Vas 2		Vas 3	
Mes	q_{conv} [W]	Q_{conv} [kWh]	q_{conv} [W]	Q_{conv} [kWh]	q_{conv} [W]	Q_{conv} [kWh]
Gener	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Febrer	-31.250	-21.000	0	0	1.500	1.008
Març	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Abril	-31.250	-22.500	0	0	1.500	1.080
Maig	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Juny	-31.250	-22.500	0	0	1.500	1.080
Juliol	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Agost	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Setembre	-31.250	-22.500	0	0	1.500	1.080
Octubre	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116
Novembre	-31.250	-22.500	0	0	1.500	1.080
Desembre	-31.250	-23.250	0	0	1.500	1.116

Taula 15: Pèrdues calorífiques per convecció amb l'aire interior de la sala dels vasos.

En el balanç global, trobem un guany d'energia per convecció.

5.2.4. Pèrdues per renovació de l'aigua dels vasos

L'evaporació durant el dia i els mateixos usuaris de les instal·lacions (surten mullats dels vasos) fan que s'hagi d'emplenar els vasos contínuament. No hi ha un cabal de renovació fixat per la normativa, però el recomanat (i el que es segueix a les instal·lacions) és una renovació diària del 5% del volum total del vas (Decret 193/1987, Reglament sanitari de piscines d'ús col·lectiu).

La fórmula utilitzada és la següent (llibre de l'Albert Mitjà^[4]):

$$q_{\text{ren}} = Q_{\text{ren}} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{aigua}} - T_{\text{xarxa}}) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

On:

Q_{ren} : cabal de renovació [m^3/h]

ρ : densitat de l'aigua a la temperatura del vas. S'ha considerat aigua pura, sense additius (la variació és mínima) [Kg/m^3]

C_p : calor específica de l'aigua a la temperatura del vas. S'ha considerat aigua pura, sense additius (la variació és mínima) [$W \cdot h / Kg \cdot K$]

T_{aigua} : temperatura de l'aigua del vas [$^{\circ}C$ o K]

T_{xarxa} : temperatura de l'aigua provinent de la xarxa de distribució pública [$^{\circ}C$ o K]

En aquest cas, trobem que la temperatura de la xarxa de distribució d'aigua pública varia segons el mes.

A l'annex 7 es troba tot el desenvolupament dels càlculs aplicat al mes de gener.

Les pèrdues per renovació són:

	Vas 1		Vas 2		Vas 3	
Mes	q_{ren} [W]	Q_{ren} [kWh]	q_{ren} [W]	Q_{ren} [kWh]	q_{ren} [W]	Q_{ren} [kWh]
Gener	28.638	21.306	5.199	3.868	2.814	2.094
Febrer	27.130	18.231	4.982	3.348	2.706	1.818
Març	24.116	17.942	4.549	3.384	2.489	1.852
Abril	21.101	15.193	4.116	2.963	2.273	1.636
Maig	19.594	14.578	3.899	2.901	2.165	1.610
Juny	18.087	13.023	3.682	2.651	2.056	1.481
Juliol	16.580	12.335	3.466	2.579	1.948	1.449
Agost	18.087	13.457	3.682	2.740	2.056	1.530
Setembre	19.594	14.108	3.899	2.807	2.165	1.558

Octubre	21.101	15.699	4.116	3.062	2.273	1.691
Novembre	24.116	17.363	4.549	3.275	2.489	1.792
Desembre	28.638	21.306	5.199	3.868	2.814	2.094

Taula 16: Pèrdues calorífiques per convecció amb l'aire interior de la sala dels vasos.

5.2.5. Pèrdues per radiació

Cadascun dels tres vasos i els tancaments que delimiten la sala dels vasos poden ser considerats superfícies radiants que bescanvien calor entre elles mitjançant el mecanisme de la radiació.

El càlcul d'aquestes pèrdues per radiació es farà utilitzant el proposat al llibre de Termodinàmica de l'ETSEIB^[1]:

$$q = \sum_{k=1}^{Nb} \frac{\sigma \cdot T_2^4 \cdot \Delta F_2^k - \sigma \cdot T_1^4 \cdot \Delta F_1^k}{\frac{1}{A_1 \cdot \varepsilon_1^k} + \frac{1}{A_2 \cdot \varepsilon_2^k} - \frac{1}{A_2}} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

On:

σ : constant de Stefan-Boltzman, de valor $5,67\text{E-}8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

ΔF_i^k : funció de radiació de la superfície i en la banda k de longituds d'ona

T_i : temperatura de la superfície i [K]

A_i : àrea de la superfície i [m^2]

ε_i^k : emissivitat de la superfície i en la banda k

Aquesta equació correspon al cas en què la relació A_2/A_1 és finita, és a dir, A_1 no és molt més petita que A_2 .

S'han dut a terme una sèrie de simplificacions:

- No s'han fet distincions entre diferents bandes de longitud d'ona (la dificultat s'incrementava per la manca de dades i els resultats no haurien variat massa), és a dir, que totes les superfícies tenen una emissivitat ε constant i per tant $\Delta F_i^k = 1$ (per $i = 1, 2$). Així, desapareixen els sumatoris i les funcions de radiació.

- La ε de l'aigua varia segons la temperatura, però de forma molt menyspreable per al rang de temperatures que trobem en aquest cas. S'ha considerat una $\varepsilon_1 = 0,94$ igual als tres vasos.
- El considerat com A_2 és tot el que envolta la superfície A_1 (vas 1, 2 o 3). Aquesta A_2 està composta de superfícies diferents, però cada material té una emissivitat semblant a la resta:
 - $\varepsilon_{\text{formigó}}$: 0,95 (CTE).
 - $\varepsilon_{\text{porex}}$: 0,9. El poliestirè expandit està considerat un material de mitja-alta emissivitat, pel que la seva ε depèn del color de què estigui pintat. En el nostre cas, la coberta està pintada d'un color blanc en la seva part inferior.
 - $\varepsilon_{\text{vidre}}$: 0,95. El cas del vidre és especial: a altes temperatures té una ε molt petita (al voltant de 0,05), però a temperatures baixes té la $\varepsilon = 0,95$ (llibre de Termodinàmica de l'ETSEIB^[1]).
 - Per tant, s'ha considerat una $\varepsilon_2 = 0,92$.

Després d'aplicar les simplificacions explicades, ens queda el següent:

$$q = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_2 \cdot \varepsilon_2} - \frac{1}{A_2}} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

Respecte al càlcul de la T_2 , primerament s'han trobat les temperatures de cada tancament mitjançant les equacions (6) i (7):

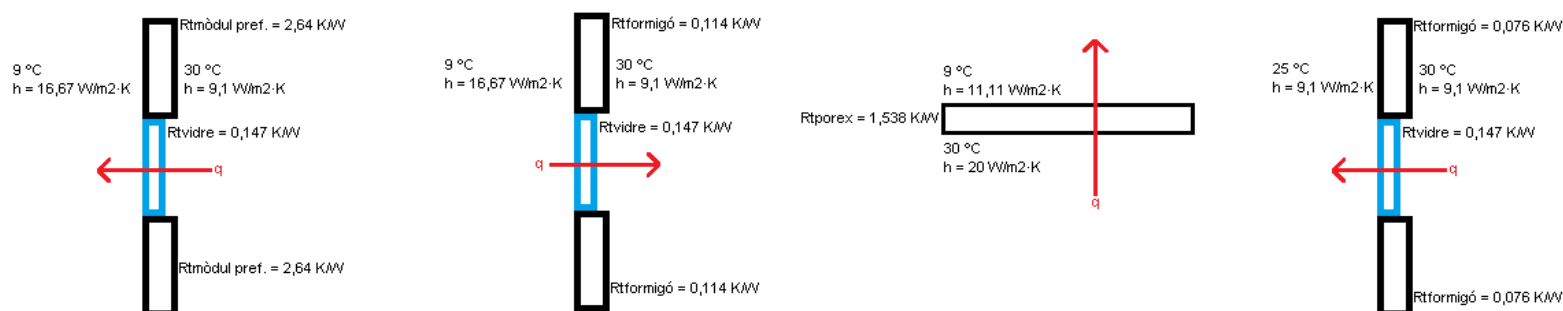


Figura 21: Esquema del flux de potència a la façana sud, façana est, coberta i paret en contacte amb altres zones de les instal·lacions utilitzat per trobar la temperatura dels diferents tancaments.

Després s'ha trobat una T_2 mitja ponderant cadascuna de les superfícies segons la seva grandària de la següent forma:

$$(A_{\text{vidre FSUD}} + A_{\text{mòdul pref FSUD}}) \cdot T_{\text{FSUD}} + (A_{\text{vidre FEST}} + A_{\text{formigó FEST}}) \cdot T_{\text{FEST}} + A_{\text{cob}} \cdot T_{\text{cob}} + (A_{\text{vidre altres}} + A_{\text{formigó altres}}) \cdot T_{\text{altres}} = A_{\text{total}} \cdot T_2 \quad (10)$$

El desenvolupament de tot l'explicat està a l'annex 8. També es poden comparar els resultats

obtinguts amb un altre mètode proposat al llibre de l'Albert Mitjà.

La temperatura exterior varia segons el mes, per tant s'han trobat variacions en la pèrdua d'energia calorífica.

Els resultats obtinguts són (els nombres negatius indiquen un guany de calor per part de l'aigua del vas):

	Vas 1		Vas 2		Vas 3	
Mes	q_{rad} [W]	Q_{rad} [kWh]	q_{rad} [W]	Q_{rad} [kWh]	q_{rad} [W]	Q_{rad} [kWh]
Gener	-4.321	-3.215	1.111	827	1.005	748
Febrer	-4.605	-3.095	1.042	700	970	652
Març	-5.069	-3.771	929	692	914	680
Abril	-5.480	-3.946	830	597	864	622
Maig	-6.126	-4.558	673	501	785	584
Juny	-6.918	-4.981	480	346	689	496
Juliol	-7.460	-5.550	349	259	623	464
Agost	-7.496	-5.577	340	253	619	460
Setembre	-7.062	-5.085	445	321	671	483
Octubre	-5.910	-4.397	725	539	812	604
Novembre	-5.033	-3.624	938	675	918	661
Desembre	-4.873	-3.625	977	727	938	698

Taula 17: Pèrdues calorífiques per convecció amb l'aire interior de la sala dels vasos.

5.2.6. Resum de totes les pèrdues i guanys calorífics trobats

A continuació s'especifiquen totes les pèrdues i guanys calculats, per facilitar el seu enteniment. Els nombres negatius indiquen un guany de calor, els positius indiquen una pèrdua d'energia calorífica.

Mes	q_e [W]	$q_{\text{conv i cond}}$ [W]	q_{conv} [W]	q_{ren} [W]	q_{rad} [W]	q_{total} [W]
Gener	51.124	38.406	-29.750	36.651	-2.205	94.226
Febrer	51.124	38.406	-29.750	34.818	-2.593	92.005
Març	51.124	32.200	-29.750	31.154	-3.226	81.502
Abril	51.124	32.200	-29.750	27.490	-3.786	77.278
Maig	51.124	32.200	-29.750	25.658	-4.668	74.564
Juny	51.124	28.806	-29.750	23.825	-5.749	68.256
Juliol	51.124	28.062	-29.750	21.994	-6.488	64.942
Agost	51.124	28.062	-29.750	23.825	-6.537	66.724
Setembre	51.124	28.062	-29.750	25.658	-5.946	69.148
Octubre	51.124	31.456	-29.750	27.490	-4.373	75.947
Novembre	51.124	38.406	-29.750	31.154	-3.177	87.757
Desembre	51.124	38.406	-29.750	36.651	-2.958	93.473

Taula 18: Taula resum dels fluxos de potència diaris dels tres vasos.

Tal com s'ha comentat a l'inici del punt, s'han multiplicat els fluxos diaris per 24 (s'han considerat constants durant tot el dia) i pel nombre de dies del mes, trobant així les pèrdues calorífiques mensuals:

Mes	Q_e [kWh]	$Q_{\text{conv i cond}}$ [kWh]	Q_{conv} [kWh]	Q_{ren} [kWh]	Q_{rad} [kWh]	Q_{total} [kWh]
Gener	38.037	28.573	-22.134	27.268	-1.640	70.104
Febrer	34.355	25.809	-19.992	23.397	-1.743	61.826
Març	38.037	23.957	-22.134	23.178	-2.399	60.639
Abril	36.809	23.184	-21.420	19.792	-2.727	55.638
Maig	38.037	23.957	-22.134	19.089	-3.473	55.476
Juny	36.809	20.740	-21.420	17.155	-4.139	49.145
Juliol	38.037	20.878	-22.134	16.363	-4.827	48.317
Agost	38.037	20.878	-22.134	17.727	-4.864	49.644
Setembre	36.809	20.205	-21.420	18.473	-4.281	49.786
Octubre	38.037	23.403	-22.134	20.452	-3.254	56.504
Novembre	36.809	27.652	-21.420	22.430	-2.288	63.183
Desembre	38.037	28.573	-22.134	27.268	-2.200	69.544
Anual	447.850	287.809	-260.610	252.592	-37.835	689.806

Taula 19: Taula resum de totes les pèrdues calorífiques segons el mes dels tres vasos.

6. Instal·lació solar tèrmica

6.1. Introducció

Tota instal·lació tèrmica està formada per un subsistema de captació, un subsistema d'emmagatzematge i un subsistema de distribució.

6.1.1. Subsistema de captació.

Segons com es capti l'energia solar i les temperatures que es poden assolir en la instal·lació, trobem:

- Instal·lacions d'alta temperatura: aquests tipus d'instal·lacions arriben fins a temperatures d'aproximadament 800°C , i estan enfocades en la generació d'energia elèctrica. Solem trobar centrals del tipus torre captadora, on tots els captadors fan incidir la radiació solar i escalfen el fluid que s'evapora i fa moure la turbina.



Figura 22: Central de torre captadora.

- Instal·lacions de mitja temperatura: en aquest tipus d'instal·lacions se sol treballar al voltant dels 300°C , i se solen trobar en processos industrials. El tipus de captador més comú en aquests casos és el col·lector parabòlic.



Figura 23: Captador parabòlic.

- Instal·lacions de baixa temperatura: en aquest tipus d'instal·lacions es treballa per sota dels 90°C. Solen servir per produir ACS, preescalfar aigua per a calderes de combustibles fòssils, calefacció i climatització. Els col·lectors utilitzats són els plans o de tubs de buit.



Figura 24 i 25: Captador pla i captador de tubs de buit.

El tipus de col·lector utilitzat en aquest projecte serà un de tipus pla, per tant a continuació s'explicarà el seu funcionament així com el de la seva alternativa, el captador de tubs de buit.

Un captador solar pla està format pels següents components:

- Coberta: constituïda normalment de vidre, permet que la radiació passi i a la vegada disminueix les pèrdues per convecció i radiació.
- Placa absorbent: constituïda d'un material conductor, absorbeix la radiació incident i escalfa els tubs per on passa el fluid a escalfar.

- Canal d'aire: separació entre la coberta i la placa absorbent. L'amplitud d'aquesta influeix en la temperatura que s'assoleix a l'interior (a més diferència de temperatures interiors i exteriors, més pèrdues).
- Tubs: conductes en contacte amb la placa absorbent per on passa el fluid que transporta l'energia calorífica.
- Capa aïllant: col·locada en la part posterior i als costats del captador, minimitza les pèrdues calorífiques per la diferència de temperatures entre l'interior del captador i la temperatura exterior.

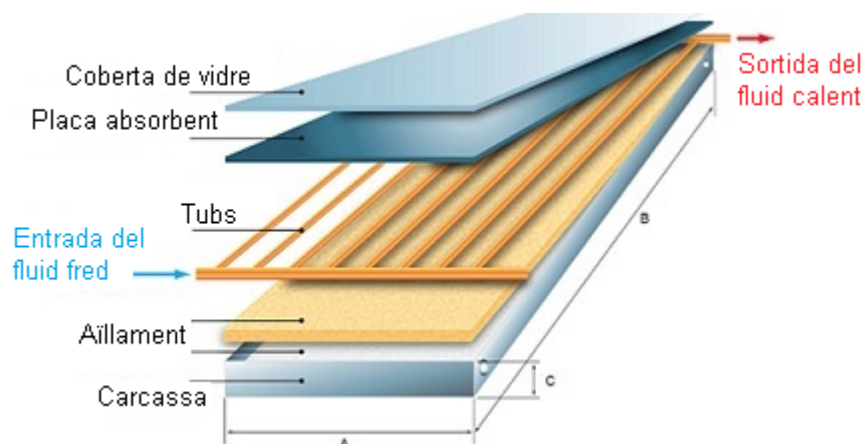


Figura 26: Components d'un captador solar pla.

En el cas dels captadors de tubs de buit, trobem que se substitueixen tant la placa absorbent com els tubs per "tubs de buit". Aquests tubs de buit consisteixen en un doble tub de vidre on s'ha fet el buit entre les dues parets, i dins del tub interior es troba el fluid a escalfar.

El funcionament del captador pla estàndard està basat en la bona transmitància del vidre ($\tau = 0,9$) i baixa absorptància α i reflectància ρ en el rang de longitud d'ona visible ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$), mentre que per longituds d'ona infraroja ($2,5\text{-}1000 \mu\text{m}$) té una transmitància de 0,05.

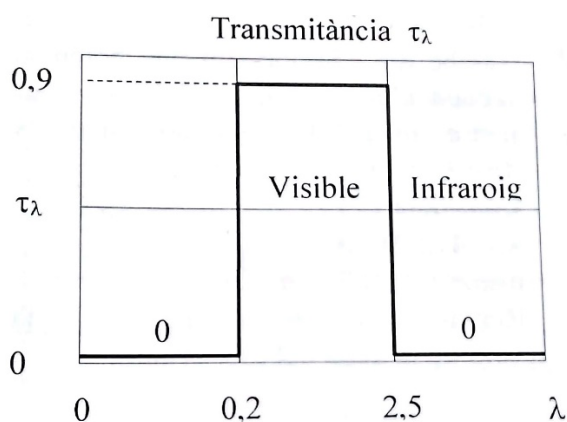


Figura 27: Transmitància del vidre segons la longitud d'ona. Extret del llibre de Termodinàmica^[1].

Tot l'anterior implica que el vidre deixa passar la llum solar per escalfar la placa absorbent, però quan aquesta placa s'escalfa emet una radiació infraroja que no escapa per la coberta de vidre sinó que torna a rebotar contra la placa absorbent, generant un efecte hivernacle. S'ha de destacar que aquest efecte s'ha de controlar, ja que si arribem a una alta temperatura en el seu interior, en el pitjor dels casos es faria malbé el captador mentre que en el millor es reduiria el rendiment de l'aparell a l'augmentar les pèrdues calorífiques.

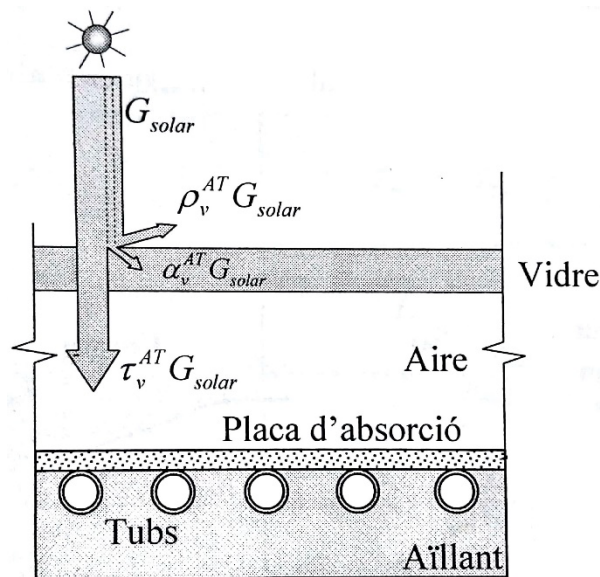


Figura 28: Funcionament d'un captador pla. Imatge modificada del llibre de Termodinàmica^[1].

Respecte al funcionament dels tubs de buit, està basat en els mateixos principis anteriors però l'efecte hivernacle passa en el tub interior. La radiació escalfa el fluid a l'interior, fent que aquest s'evapori i condensi dins del tub, escalfant l'aigua. El gran avantatge d'aquesta tecnologia és que permet reduir les pèrdues calorífiques del captador de forma notable respecte al model estàndard, arribant a l'extrem de què hi ha perill d'arribar a temperatures massa elevades al seu interior. També s'ha de destacar que aquests captadors són més cars.

S'ha optat per escollir un captador solar pla per la zona climatològica de la instal·lació: no trobem temperatures extremadament fredes i hi ha una bona radiació, per tant, no cal utilitzar uns captadors d'alt rendiment com serien els de tub de buit.

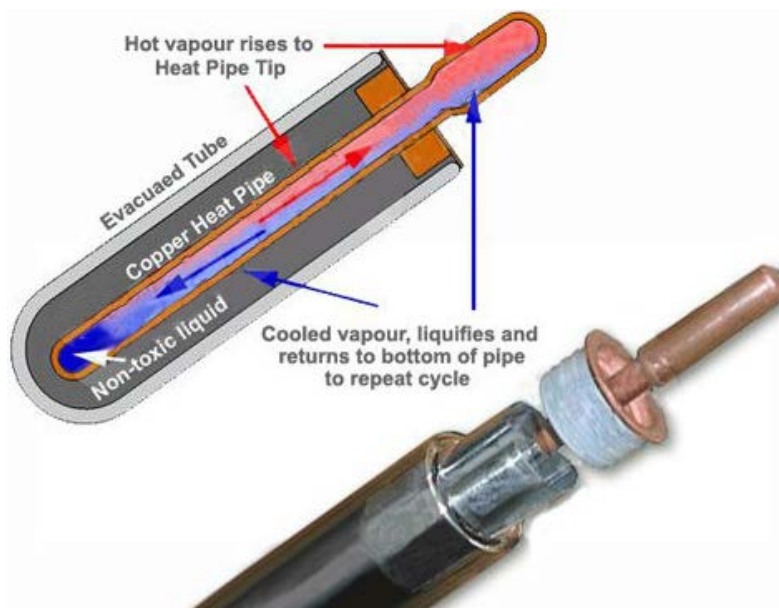


Figura 29: Funcionament i exemple d'un tub de buit.

6.1.2. Subsistema d'emmagatzematge

Format pel/s dipòsit/s on s'acumula l'ACS per al seu consum i/o reescalfament (si escau). A la part inferior es concentra l'aigua freda (es va refredant amb el temps), la qual es pot fer passar un altre cop pels captadors o pel sistema auxiliar d'escalfament si aquesta té una temperatura massa baixa. A la part superior s'aboca l'aigua calenta provinent dels captadors.

En aquest projecte, aquest subsistema ja està construït, per tant no s'ampliarà més. Hi ha dos dipòsits de 2000l del fabricant AQUAFLEX instal·lats.

6.1.3. Subsistema de distribució

Format pel sistema auxiliar (calderes, etc.) que pot reescalfar l'aigua si escau, el sistema de control, les canonades i vasos d'expansió, bombes i depuradors. Com en el cas del subsistema d'emmagatzematge, s'aprofitarà el que ja està instal·lat.

6.1.4. Possibilitats de distribució dels subsistemes

En funció de com estiguin distribuïts els diferents subsistemes podem trobar:

- Sistema centralitzat: des d'almenys un dipòsit es distribueix l'ACS cap als punts de consum.

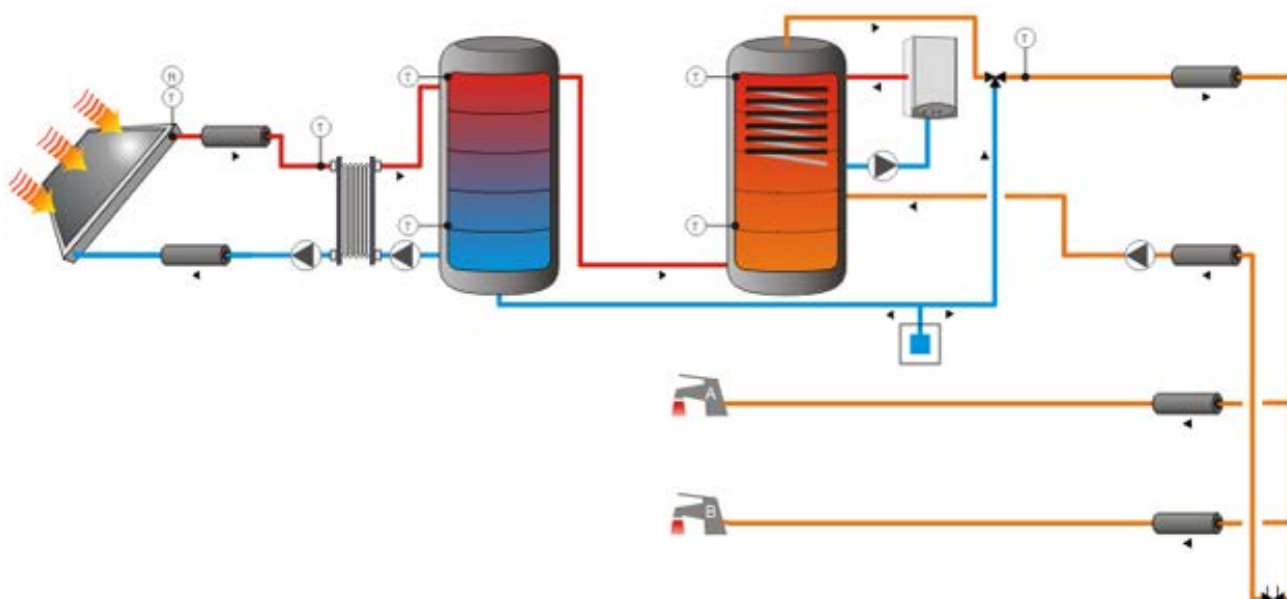


Figura 30: Sistema centralitzat. Imatge modificada extreta d'AIGUASOL.

- Sistema descentralitzat: es col·loquen uns quants dipòsits petits que supleixen les necessitats de la zona on estan posicionats.

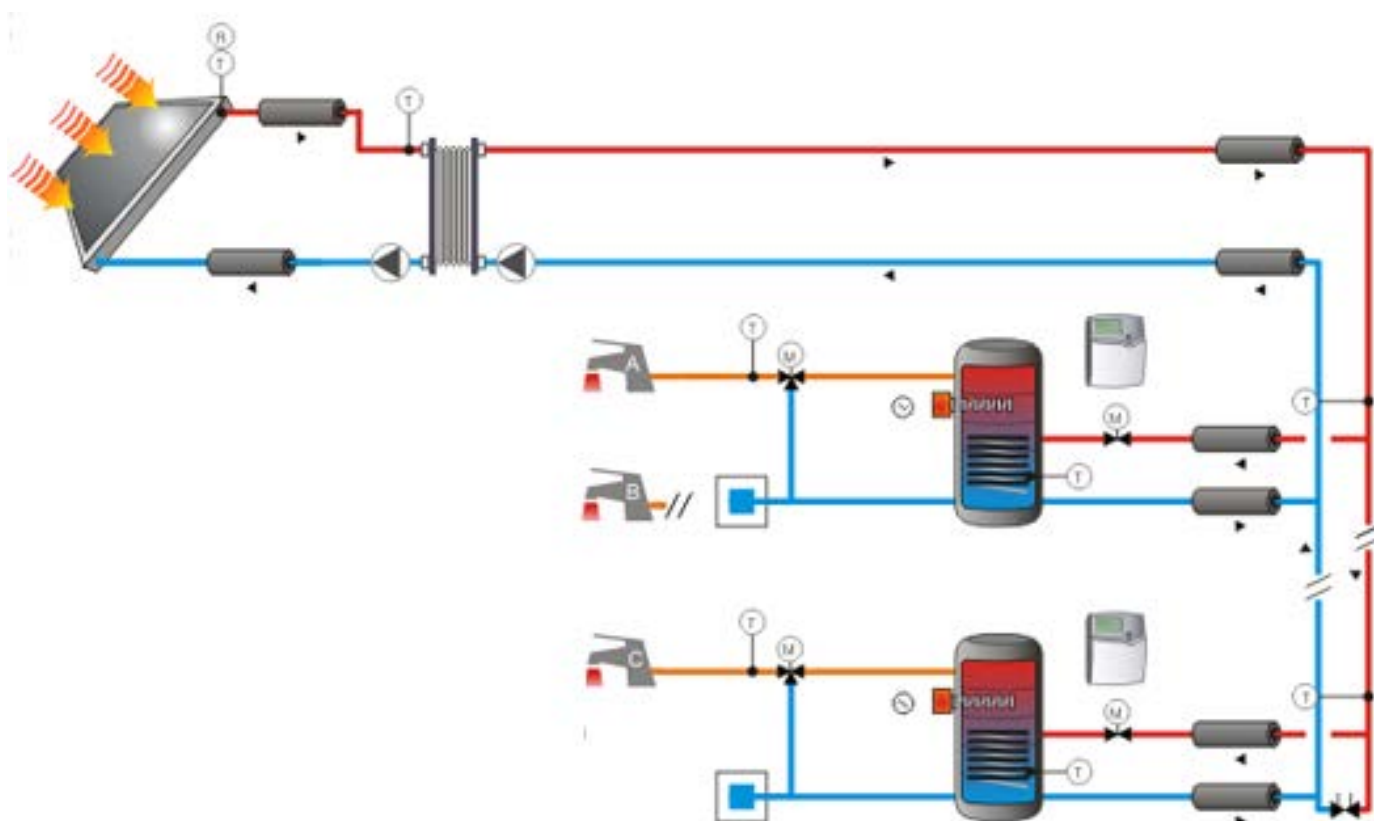


Figura 31: Sistema descentralitzat. Imatge modificada extreta d'AIGUASOL.

- Sistema semi descentralitzat: hi ha un sol dipòsit però diversos bescanviadors a les diferents zones on s'ha de subministrar l'ACS. En el nostre cas és la solució utilitzada, ja que es mantenen els diversos circuits d'aigua independents els uns dels altres, i facilita el control dels diferents additius així com el seu filtratge de l'aigua (a costa d'augmentar les pèrdues calorífiques, ja que no tota la calor generada és aprofitada als bescanviadors).

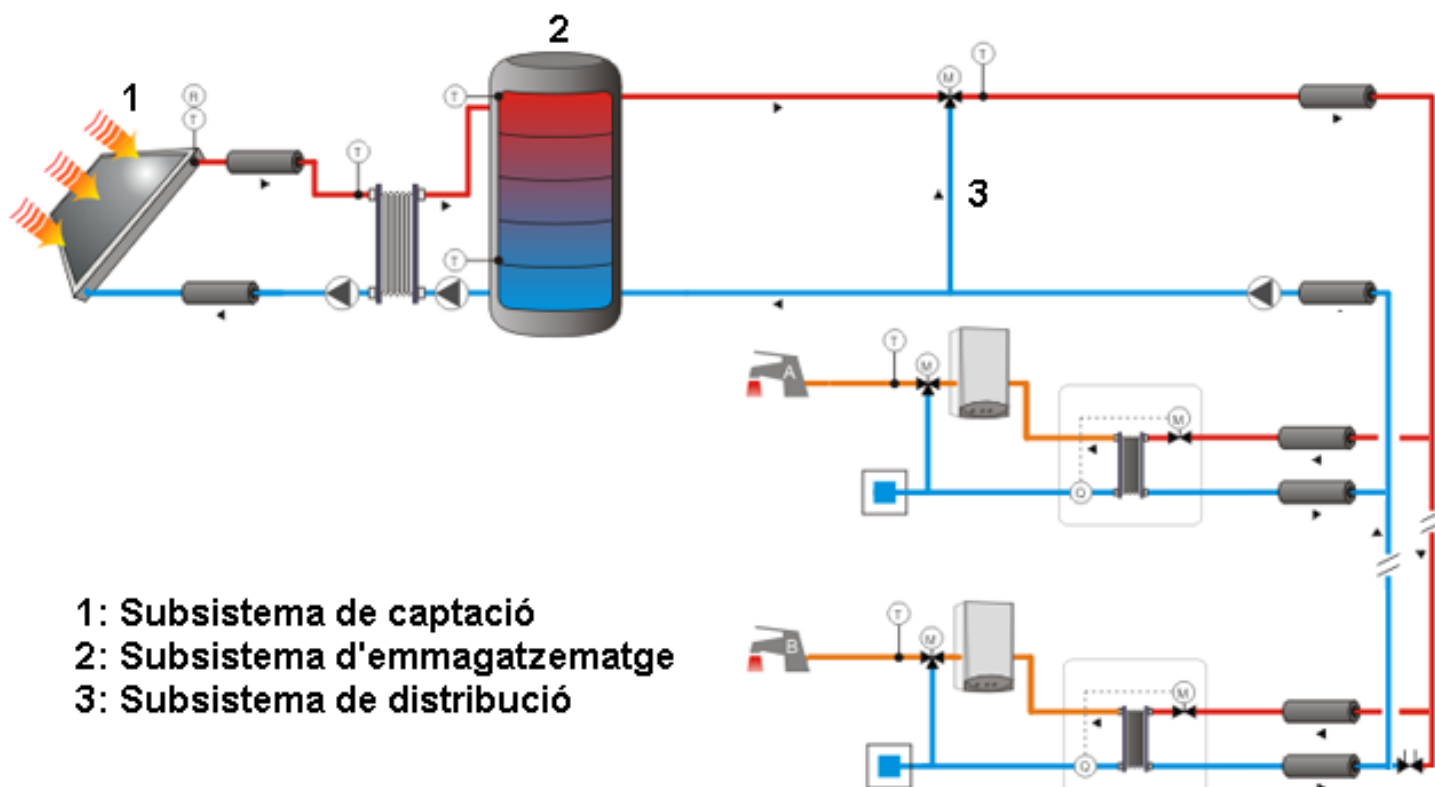


Figura 32: Sistema semi descentralitzat. Imatge modificada extreta d'AIGUASOL.

6.2. Captador solar escollit

El captador solar escollit és un captador pla Heliostar S4 Steck del fabricant ROTH. Aquest captador té una coberta de vidre de seguretat (3,2 mm de gruix i transmitància $\tau = 0,916$), una placa absorbent d'alumini (absorbència $\alpha = 0,95$ i emissivitat $\varepsilon = 0,05$) i una capa aïllant de policarbonat de 50 mm de gruix.



Figura 33: Captador solar HELIOSTAR S4 STECK.

Les característiques tècniques del captador són les següents:

- Dimensions: 2100x1200x109 mm.
- Superfície bruta: 2,52 m². Superfície útil: 2,27 m².
- 36 kg de pes.
- 629 € la unitat.

Respecte a la corba de rendiment, segueix la següent equació (els coeficients d'aquesta forma simplificada s'han utilitzat al càlcul de les diferents solucions):

$$\eta = \eta_0 - K_1 \cdot X$$

On en el cas d'aquest captador, $\eta_0 = 77,1\%$ i K (coeficient global de pèrdues) = $3,68E-3$ kW/(m²·°C). La corba real de rendiment és la següent (té en compte un altre coeficient que el mètode de dimensionament de la instal·lació no necessita):

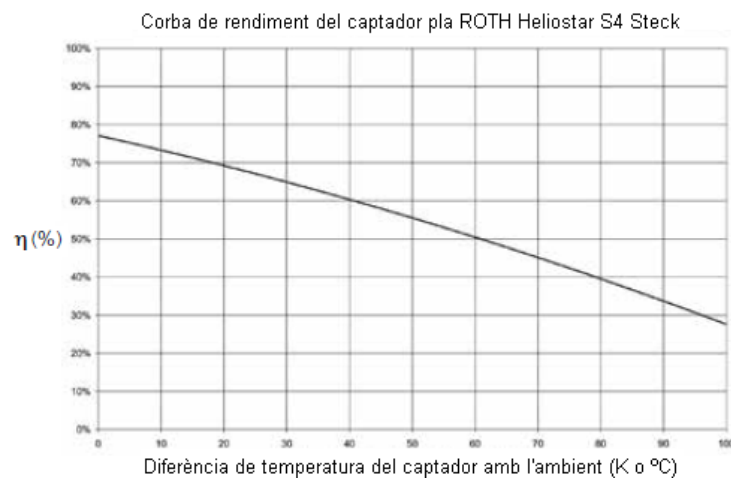


Figura 34: Corba de rendiment real del captador HELIOSTAR S4 STECK.

6.3. Dimensionament de la instal·lació

Per al dimensionament de qualsevol instal·lació solar tèrmica s'han de tenir en compte els següents ítems:

- Càlcul de les necessitats energètiques: primerament s'ha d'esbrinar què ha de suplir la instal·lació. Aquesta fase ja s'ha dut a terme a l'apartat 5.
- Cobertura solar: a partir de les necessitats energètiques i les dades de la climatologia de la zona on es situarà la instal·lació es calcula quants captadors són necessaris. Aquest càlcul utilitzarà un mètode conegut com *f-chart*.
- Anàlisi econòmica: a partir del càlcul anterior, es proposen diferents solucions possibles i s'estudia la viabilitat d'implantació del projecte des d'un punt de vista econòmic, comparant el cost i els beneficis que comporta la solució.
- Estudi mediambiental: també s'ha de considerar l'estalvi d'emissions que comportarà la utilització de la instal·lació.

6.3.1. Mètode *f-chart*

Aquest mètode va ser desenvolupat per Sandfor Klein a la Universitat de Wisconsin (1976). Permet calcular el rendiment i fracció de la demanda coberta per una instal·lació solar tèrmica de baixa temperatura, a partir de valors mitjans diaris en base mensual. També s'ha de destacar que menysprea les pèrdues per la distribució d'ACS, tot i que si contempla les del/s col·lector/s. Les fórmules que utilitza són les següents:

$$Q_A = Q_{ACS} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{emmagatzematge} - T_{xarxa}) \cdot N \quad [\text{kJ/mes}]$$

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad [\text{adimensional}] \quad (11)$$

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_A} \quad [\text{adimensional}] \quad (12)$$

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_A} \quad [\text{adimensional}] \quad (13)$$

$$E_a = S_c \cdot F'_r(\tau\alpha) \cdot R \cdot N \quad [\text{kJ/mes}] \quad (14)$$

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \cdot \frac{F'_r}{F_r} \quad [\text{adimensional}] \quad (15)$$

$$E_p = S_c \cdot F'_r U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \frac{3600}{N} \quad [\text{kJ/mes}] \quad (16)$$

$$F'_r U_L = F_r U_L \cdot \frac{F'_r}{F_r} \text{ [adimensional]} \quad (17)$$

$$K_1 = \left(\frac{kg \text{ acumulació}}{75 \cdot S_c} \right)^{-0,25} \text{ [adimensional]} \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{11,6 + 1,18 \cdot t_a + 3,86 \cdot t_r - 2,32 \cdot t_a}{100 - t_a} \text{ [adimensional]} \quad (19)$$

$$Q_u = f \cdot Q_A \text{ [kJ/mes]} \quad (20)$$

$$F = \frac{\sum_{Gener}^{Desembre} Q_u}{\sum_{Gener}^{Desembre} Q_A} [\%] \quad (21)$$

On:

E_a : energia absorbida pel/s captador/s [kJ/mes]

E_p : energia perduda pel/s captador/s [kJ/mes]

Q_A : demanda mensual d'ACS [kJ/mes]

S_c : superfície captadora [m^2]

$F_r(\tau\alpha)_n$: factor d'eficiència òptica del captador, l'ordenada en l'origen de la corba característica del captador (η_0)

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$: modificador de l'angle d'incidència. Val 0,96 si tenim una superfície transparent senzilla (el nostre cas) o 0,94 si tenim una superfície transparent doble al captador

F'_r/F_r : factor corrector del conjunt captador-intercanviador, de valor 0,95

R : radiació diària mitja mensual [kJ/m^2]

N : nombre de dies del mes

$F_r U_L$: pendent de la corba característica del captador o coeficient de pèrdues global del captador, la K proporcionada pel fabricant

t_a : temperatura mitjana mensual de l'ambient [$^{\circ}C$]

Δt : mitja d'hores de sol mensuals [h/mes]

K_g acumulació: capacitat d'emmagatzematge d'ACS [kg]

t_{ac} : temperatura mínima als dipòsits d'ACS, en aquest projecte s'ha considerat igual a 60°C [°C]

t_r : temperatura d'aigua de la xarxa [°C]

t_a : temperatura mitjana mensual de l'ambient [°C]

Q_u : energia útil captada cada mes [kJ/mes]

F : fracció de la demanda coberta per la instal·lació

La fórmula que s'utilitza per trobar la demanda mensual (Q_A) no s'ha utilitzat en aquest projecte, ja que s'han trobat les pèrdues utilitzant fórmules de Termotècnia i no a partir del caudal d'aigua que necessiten les instal·lacions. Q_{ACS} és el cabal d'ACS necessari, ρ és la densitat de l'aigua i C_p és la calor específica de l'aigua.

La mitja d'hores de sol de l'Hospitalet de l'Infant s'ha extret de la web de Citipedia (hi ha informació variada sobre la localització que s'hi busqui), obtenint el següent:

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Des
Hores de sol diàries [h]	10	11	12,5	14	14,5	16	15,5	14,5	13	12	11	10

Taula 20: Mitja d'hores de sol diàries a l'Hospitalet de l'Infant.

6.3.2. Estudi de l'espai disponible

Sabent les dimensions del model i seguint la normativa (ITE 10.1.3.1) que ens indica que la distància entre fileres de captadors ha de ser superior a 1,732 vegades l'alçada del captador (tenint en compte la inclinació), s'ha trobat el nombre màxim de captadors que es poden col·locar.

Primerament s'ha considerat que els captadors es disposaran de forma vertical, en blocs de 5 captadors (recomanació del fabricant, si es posen més per fila s'hauria de comprar material addicional, ja que els cabdals d'ACS es veuen afectats) i amb una inclinació de 41° (els captadors fixes es disposen segons la latitud ($\pm 15^\circ$) on estigui la instal·lació).

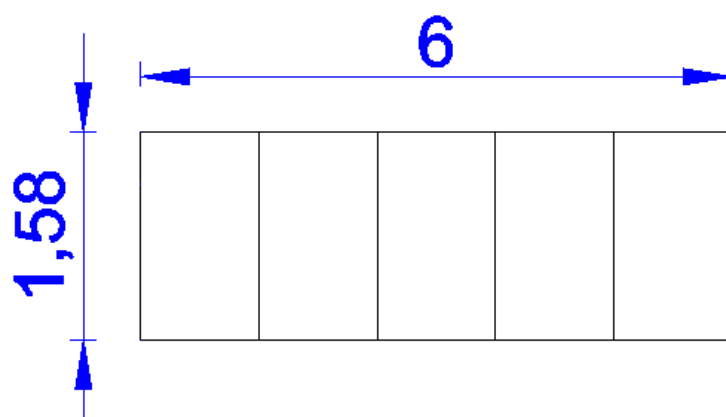


Figura 35: Vista en planta d'un bloc de 5 captadors [m].

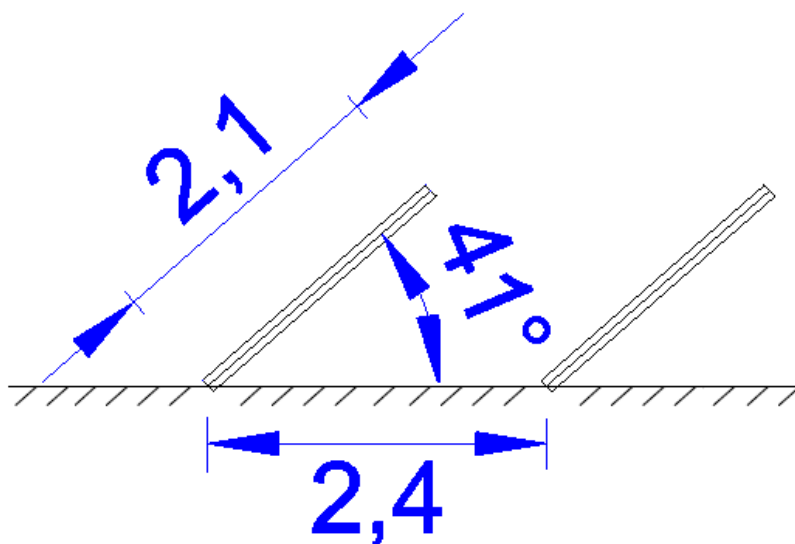


Figura 36: Inclinió dels blocs [°] i separació entre dues fileres [m].

Amb les consideracions anteriors, s'ha calculat que en l'espai que es pot utilitzar immediatament es poden col·locar fins a 180 captadors, en 36 blocs de 5 captadors cadascun.

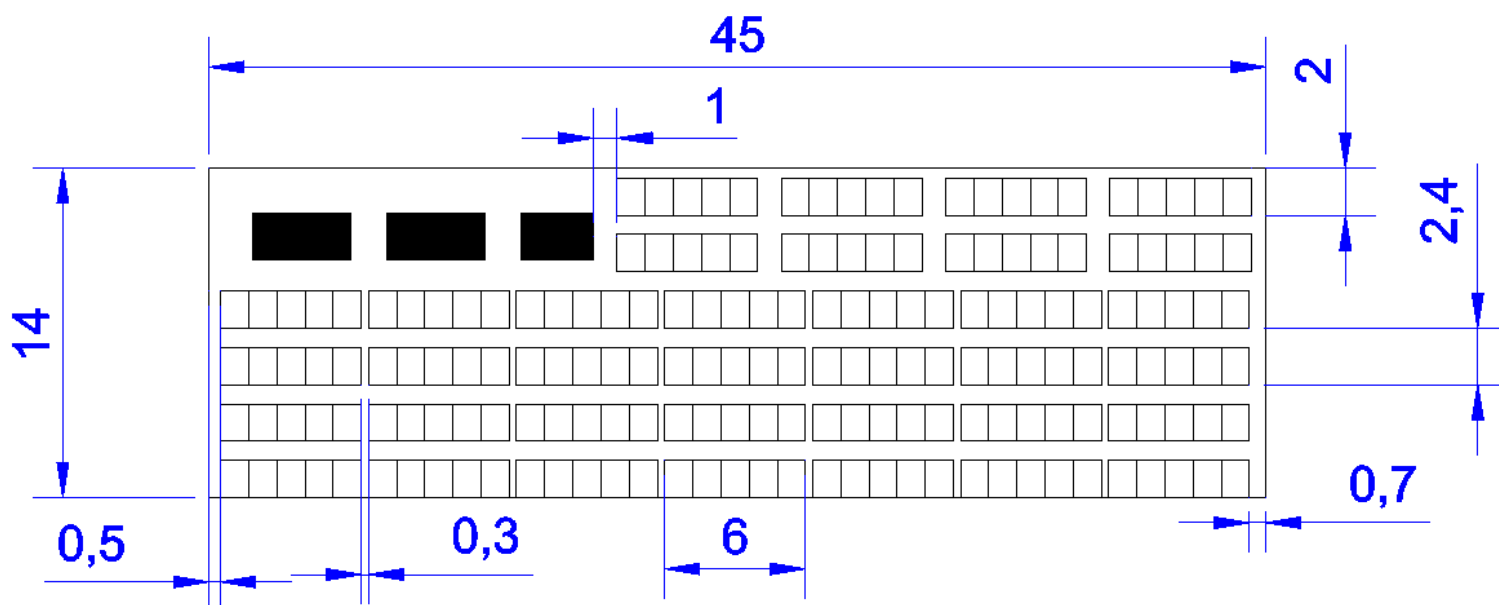


Figura 37: Nombre màxim de captadors instal·lats, amb cotes [m]. Els captadors pintats de negre són els panells fotovoltaics instal·lats actualment.

6.3.3. Solucions proposades

S'han plantejat tres possibles solucions:

- Dimensionament per cobrir tota la demanda: s'han calculat el nombre de captadors necessaris per aconseguir una cobertura anual F del 100%.
- Dimensionament per reduir la quantitat d'energia desaprofitada: aquesta solució sorgeix a partir dels resultats trobats per al dimensionament de la primera solució proposada, ja que al dimensionar per cobrir tota la demanda anual trobem que en alguns mesos tindrem una producció d'energia desaprofitada.
- Dimensionament segons l'estàndard: tot i no existir una normativa que obligui a cobrir un mínim de la demanda, amb el mètode *f-chart* s'acostuma a dissenyar/analitzar instal·lacions que cobreixin entre un 60% i un 80% de la demanda total.

6.3.4. Dimensionament per cobrir tota la demanda

Tal com s'ha comentat, s'ha intentat aconseguir una cobertura total de la demanda. Segons el mètode *f-chart*, s'aconsegueix una cobertura F del 100% amb una instal·lació que tingui 404 captadors. A continuació es poden observar els resultats numèrics del càlcul.

Mes	Q necessària [kWh]	Q absorbida [kWh]
Gener	70.104	38.508
Febrer	61.826	48.036
Març	60.639	64.540
Abril	55.638	68.699
Maig	55.476	75.707
Juny	49.145	71.262
Juliol	48.317	71.312
Agost	49.644	68.278
Setembre	49.786	60.917
Octubre	56.504	50.509
Novembre	63.183	38.171
Desembre	69.544	33.912

Taula 21: Resum de l'energia necessària i proporcionada per una instal·lació amb 404 captadors.

Per facilitar l'enteniment de la taula anterior, s'ha elaborat el següent gràfic:

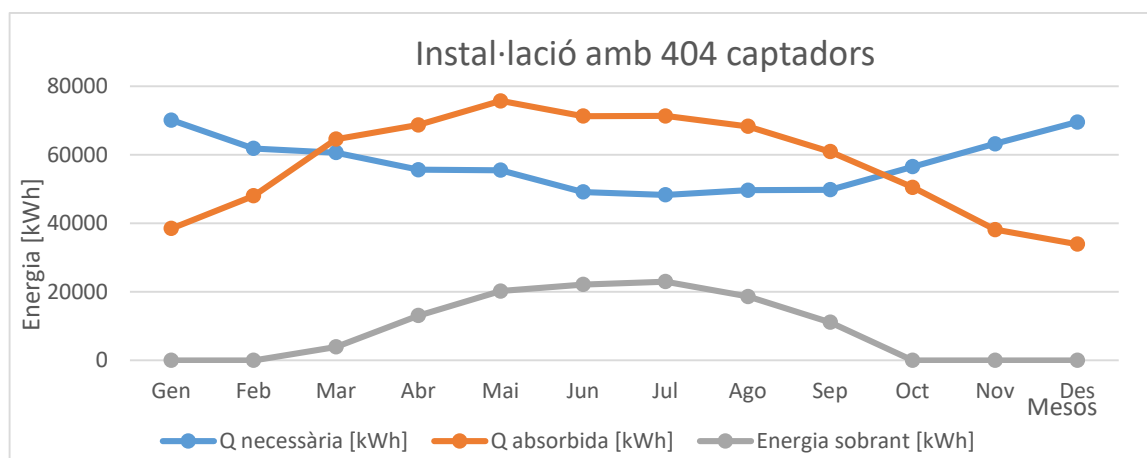


Figura 38: Gràfic de l'energia necessària, l'absorbida per la instal·lació i la sobrant en funció del mes.

Tal com es pot veure en la figura 35, el mètode utilitzat no ens serveix per dimensionar instal·lacions totalment independents, ja que una $F=100\%$ significa que cobreix tota la demanda des d'un punt de vista anual, però mes a mes podem veure que realment no es cobreix tota la demanda als mesos més freds (gener, febrer, octubre, novembre i desembre) i pels mesos més calents trobem que es desaprofita una gran part de l'energia generada per la instal·lació (un 23%).

6.3.5. Dimensionament per reduir la quantitat d'energia desaprofitada

Amb l'objectiu de reduir al màxim les pèrdues i veient que clarament s'haurà d'utilitzar el sistema auxiliar per cobrir completament la demanda, s'ha dimensionat la instal·lació per cobrir el mes amb la demanda més baixa, juliol. Són necessaris 174 captadors per cobrir aquesta demanda.

Mes	Q necessària [kWh]	Q absorbida [kWh]
Gener	70.104	18.141
Febrer	61.826	23.753
Març	60.639	34.616
Abril	55.638	39.493
Maig	55.476	46.821
Juny	49.145	47.235
Juliol	48.317	48.431
Agost	49.644	42.524
Setembre	49.786	34.806
Octubre	56.504	25.738
Novembre	63.183	18.189
Desembre	69.544	15.793

Taula 22: Resum de l'energia necessària i proporcionada per una instal·lació amb 174 captadors.

El gràfic que il·lustra la taula 22:

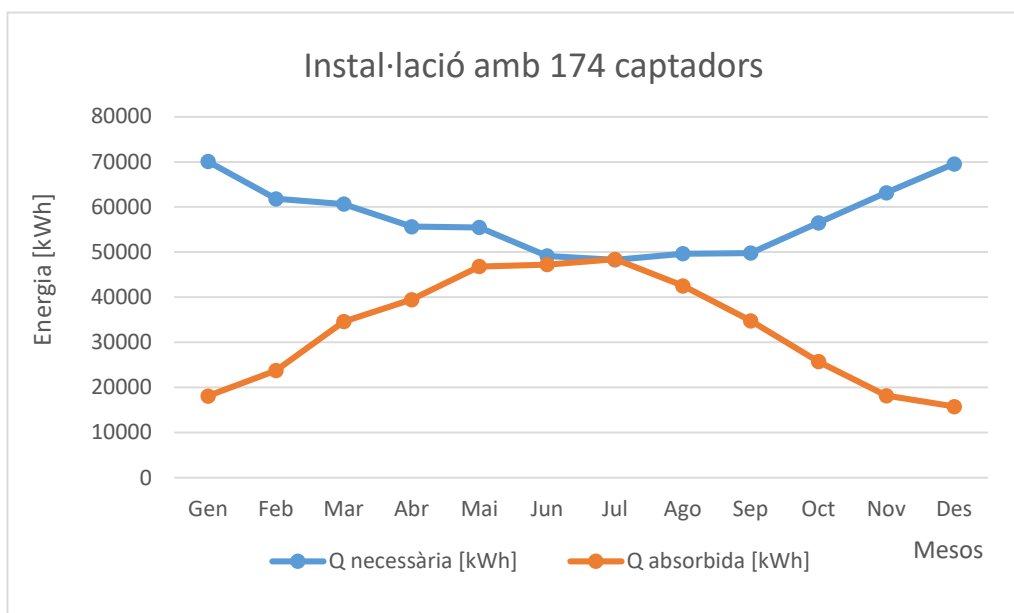


Figura 39: Gràfic de l'energia necessària i l'absorbida per la instal·lació en funció del mes.

La disposició proposada per aquesta quantitat de captadors:

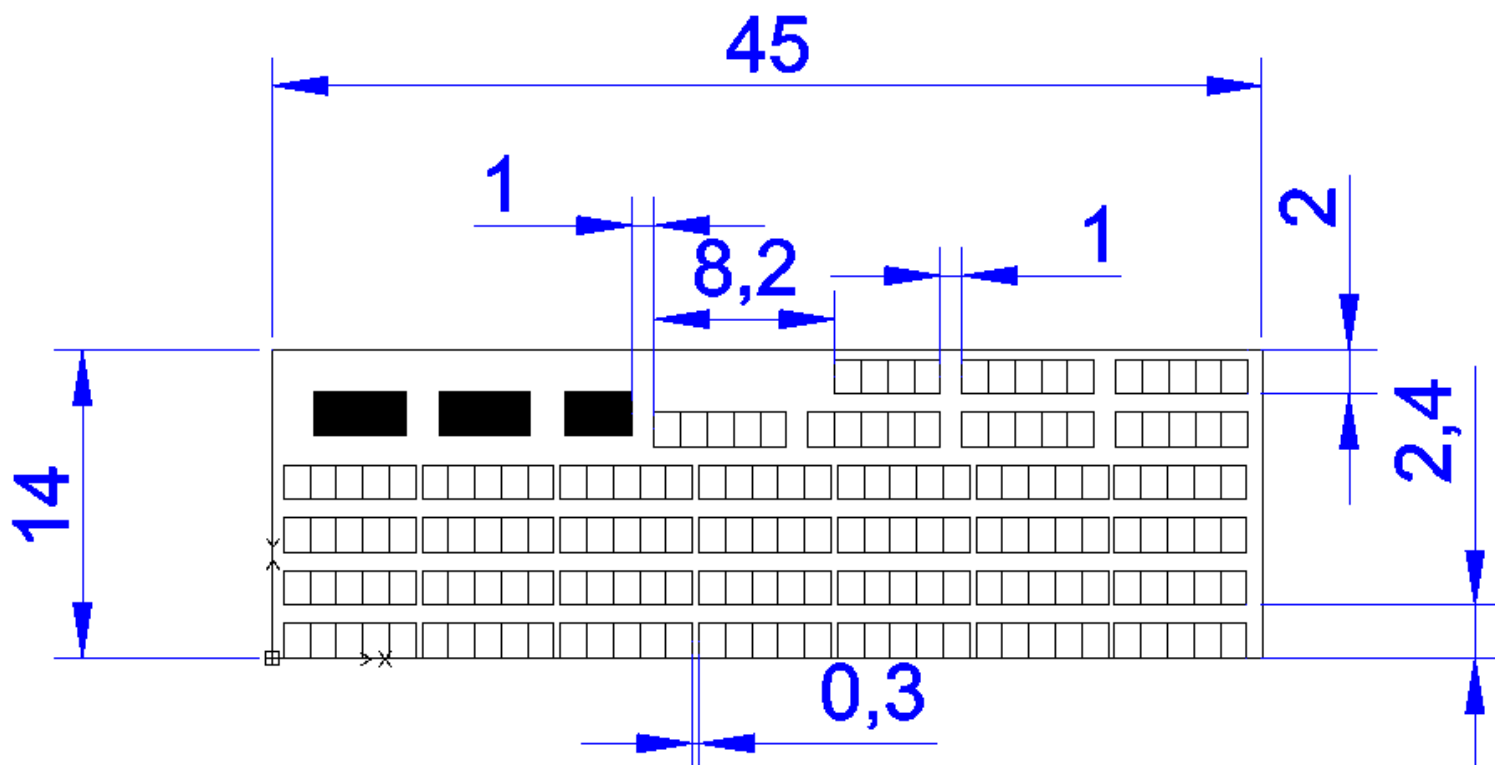


Figura 40: Possible distribució de 174 captadors, amb cotes [m]. Els captadors pintats de negre són els panells fotovoltaics instal·lats actualment.

6.3.6. Dimensionament segons l'estàndard

Tal com ja s'ha comentat, l'ideal de cobertura de la demanda per part de la instal·lació solar es troba entre el 60% i el 80%. Per aconseguir una $F=60\%$, es necessiten un total de 185 captadors. Però com s'ha vist al punt 6.3.2, el màxim possible sense haver d'habilitar més espai és de 180 captadors. Per tant, s'ha estudiat una instal·lació amb 180 captadors.

Amb 180 captadors aconseguim una $F = 58,87\%$, bastant propera al mínim ideal. Els resultats numèrics són els següents:

Mes	Q necessària [kWh]	Q absorbida [kWh]
Gener	70.104	18.723
Febrer	61.826	24.485
Març	60.639	35.609
Abril	55.638	40.553
Maig	55.476	47.984
Juny	49.145	48.313
Juliol	48.317	49.500
Agost	49.644	43.572
Setembre	49.786	35.746
Octubre	56.504	26.510
Novembre	63.183	18.767
Desembre	69.544	16.305

Taula 23: Resum de l'energia necessària i proporcionada per una instal·lació amb 174 captadors.

El gràfic corresponent a la taula 23:

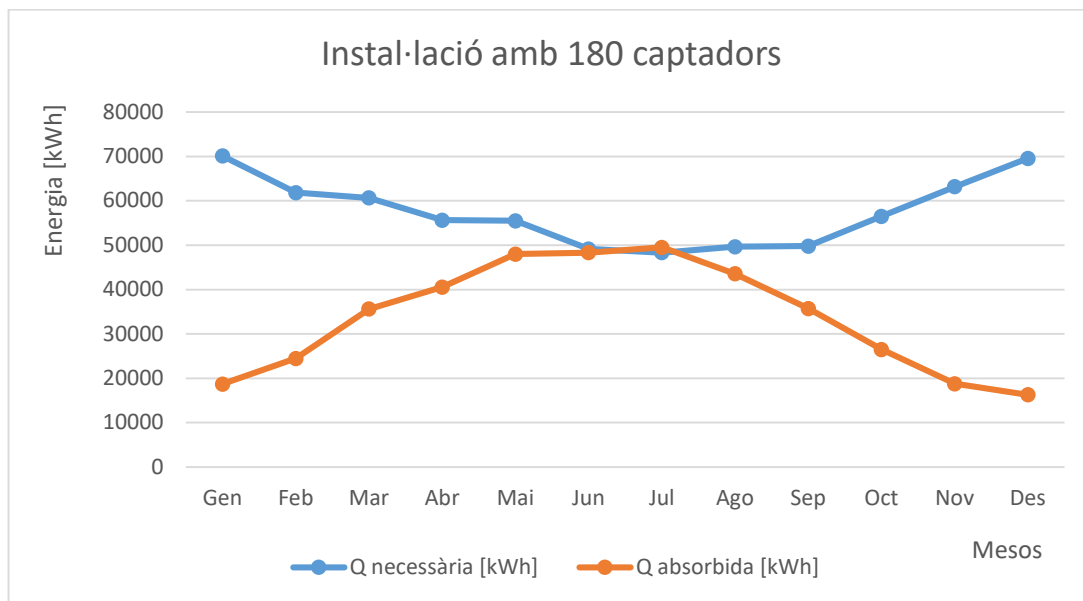


Figura 41: Gràfic de l'energia necessària i l'absorbida per la instal·lació en funció del mes.

La disposició proposada dels captadors seria l'observada al punt 6.3.2.

7. Anàlisi econòmica

Per tal d'escollir quina és la quantitat òptima de captadors a la instal·lació, s'analitzaran les dues solucions mitjançant criteris econòmics relacionats amb les inversions.

7.1. Pressupost de les dues solucions viables

Primerament es calcularà, de manera aproximada, el cost de les dues solucions. No s'han tingut en compte els costos corresponents als components que distribueixen l'ACS cap a les instal·lacions (bombes, purgadors, vasos d'expansió, bescanviadors a cada piscina) ni el cost de manteniment de la instal·lació tal com es va dir en un principi.

Tots els costos s'han extret del catàleg d'energia solar tèrmica de ROTH (tarifes de 2017), i segons l'article 20.1.22º.B) de la Llei 37/1992 s'aplicarà un IVA reduït del 8% al ser una obra de rehabilitació destinada a la millora del comportament energètic reduint la demanda energètica.

Element	Unitats	Preu unitari	Preu total [€]
Captadors	174	629	109.446
Bastidor FTV vertical base + instal·lació	174	224,3	39.028,2
Bastidor FTV vertical fila + instal·lació	348	132,2	46.005,6
Regulador solar Ex BW	1	195	195
Hores enginyeria	240	10	2.400
Fluid caloportador	700	1	700
Base imposable			197.774,8
IVA 8%			15.821,98
Import total			213.596,78

Taula 24: Pressupost per la instal·lació amb 174 captadors.

Element	Unitats	Preu unitari	Preu total [€]
Captadors	180	629	113.220
Bastidor FTV vertical base + instal·lació	180	224,3	40.374
Bastidor FTV vertical fila + instal·lació	360	132,2	47.592
Regulador solar Ex BW	1	195	195
Hores enginyeria	240	10	2.400
Fluid caloportador	700	1	700
Base imposable			204.481
IVA 8%			16.358,48
Import total			220.839,48

Taula 25: Pressupost per la instal·lació amb 180 captadors.

7.2. Determinació del VAN i el TIR de les dues solucions viables

Tal com s'ha comentat a l'inici del punt 7, ja que les dues solucions són viables tècnicament s'esbrinarà quina és la millor des d'un punt de vista econòmic. S'utilitzaran dos indicadors econòmics:

- VAN (valor actualitzat net): és un indicador de la rendibilitat d'una inversió. Considera una taxa d'interès única i per als préstecs de capital. Si el VAN d'una inversió és positiu, aquesta és rendible. Es calcula de la següent manera:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{Q_t}{(1+i)^t} [\text{adimensional}] \quad (22)$$

On:

Q_t : flux de tresoreria en el període t

i : taxa d'interès

t : període de temps

T: horitzó de temps de la inversió

- TIR (taxa interna de rendibilitat): és un indicador de la rendibilitat relativa d'una inversió. En aquest cas, interessa que un projecte tingui un TIR igual o superior a la taxa i dels préstecs de capital. Es calcula trobant la taxa i que fa que el valor del VAN de la inversió sigui nul:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{Q_t}{(1+i)^t} = 0 \text{ [adimensional]} \quad (23)$$

S'han tingut en compte les següents consideracions:

- S'ha pres una $i = 10\%$, l'usual per estudiar inversions.
- S'ha establert un horitzó de temps de 20 anys. Es considera que la vida útil d'una instal·lació solar tèrmica és aquest temps, tot i que amb els equips actuals és possible, en teoria, allargar-la fins als 30 anys.
- Per tal de calcular l'estalvi en combustible, s'ha pres un cost del kWh del GN de 0,0456467 €/kWh (tarifa 3.4 de GN de Gas Natural Fenosa per consums superiors als 100.000 kWh/any).
- El Ministeri d'Energia, Turisme i Agenda digital va iniciar l'any 2017 un programa d'ajuda per desenvolupar instal·lacions que utilitzin energies renovables (Ajuts per a projectes d'ens locals que afavoreixin el pas a una economia baixa en carboni, part del programa FEDER). Aquest programa, centrat per a municipis de menys de 20.000 habitants i per a instal·lacions que es realitzin en edificis de propietat municipal, sufraga un 50% del cost total de la instal·lació (en el cas de Catalunya). Per tant, s'ha fet una deducció del 50% del cost total de la inversió inicial necessària.

S'ha trobat el següent (a l'annex 9 es poden trobar els fluxos de tresoreria utilitzats per calcular el VAN, el TIR i el període de retorn de la inversió):

Solució	VAN	TIR	Període de retorn de la inversió [anys]
Instal·lació amb 174 captadors	46912,7797	16%	5,91521687
Instal·lació amb 180 captadors	47392,8982	16%	5,95684543

Taula 26: VAN, TIR i període de retorn de la inversió de les dues solucions viables.

Els resultats que es poden veure a la taula 26 ens indiquen que els dos projectes són viables des d'un punt de vista econòmic, ja que tenen un VAN positiu i un TIR superior al 10% escollit.

La solució escollida és la instal·lació amb 180 captadors, ja que és una opció lleugerament millor tant des d'un punt de vista tècnic (ens apropem més al mínim de cobertura de la demanda ideal amb un 58,87%) com econòmic (major VAN). És cert que té un període de retorn lleugerament superior, però els beneficis a llarg termini són també lleugerament majors que amb l'altra opció.

8. Estudi mediambiental

El GN es caracteritza per ser un dels combustibles fòssils més nets en comparació amb la resta. Emet menys NO_x (a l'estar en fase gas, es mescla millor amb l'aire de combustió i hi ha menys excés d'aire que generi aquest compost durant la combustió), l'emissió de SO_2 es quasi negligible (el contingut de sofre del GN és molt petit) i no genera partícules sòlides, ja que no conté impureses ni residus.

Tenint en compte l'anterior, només s'estudiaran les emissions de CO_2 que s'estalviaran amb la instal·lació. La combustió de GN genera 0,2 kg de CO_2/kWh , i tenint en compte que només es consumiria el 41,13% del GN actual s'ha elaborat el gràfic següent:

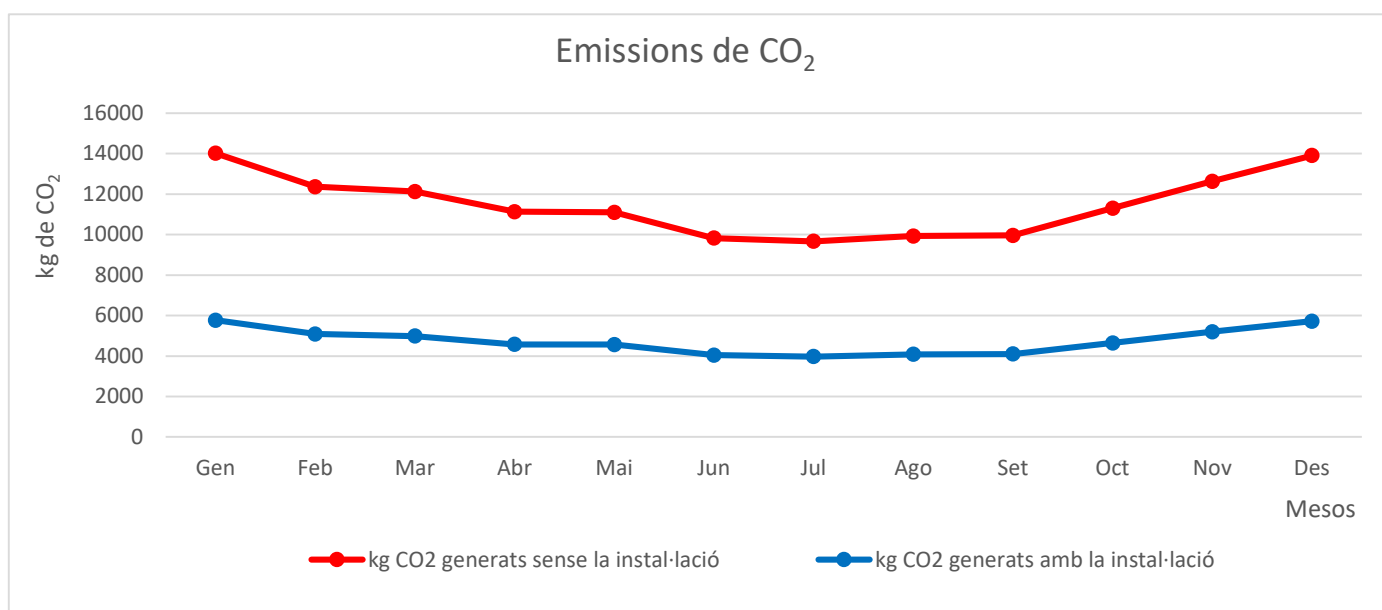


Figura 42: Emissions de CO_2 de les instal·lacions sense captadors i amb captadors en funció del mes.

Es pot afirmar que des d'un punt de vista mediambiental la instal·lació de captadors solars tèrmics és bastant recomanable.

Conclusions

A primera vista pot semblar que els instal·lacions amb piscines cobertes són edificis que tenen una arquitectura bioclimàtica que les hauria de fer menys dependents de les fonts d'energia tradicionals, però com s'ha vist durant l'elaboració del projecte poden arribar a ser una font important d'emissions. Però també s'ha de dir que són el tipus d'instal·lacions on és més viable instal·lar medis d'aprofitament d'energies renovables (plaques fotovoltaïques i/o tèrmiques) gràcies al tipus de construcció que solen tenir, amb gran quantitat d'espai pla i lliure d'ombres que posseeixen.

Mantenir grans masses d'aigua a una temperatura constant i molt més elevada que l'exterior (durant l'hivern) requereix una gran quantitat d'energia que en un principi es pensava que es podria cobrir quasi totalment amb captadors solars, però s'ha vist que es requeriria un camp solar massa extens i costós.

El mètode *f-chart* és molt potent i útil per poder dissenyar instal·lacions solars tèrmiques de baixa temperatura, però té una limitació molt clara: no serveix per dimensionar instal·lacions totalment independents (almenys de forma fiable). També és especialment útil per estudiar instal·lacions ja existents.

Actualment, la construcció d'aquest tipus d'instal·lacions depèn moltíssim, malauradament, de les ajudes per part de l'Estat i/o de la comunitat autònoma a causa del seu elevat cost. La viabilitat econòmica de l'actual projecte sense la comentada subvenció del 50% seria completament nul·la, ja que la vida útil dels captadors seria inferior o quasi igual al període de retorn de la inversió. És un tipus de tecnologia que és considerada com "madura" (per això hi ha menys ajuts en comparació amb altres tecnologies), però ha quedat clar que per a grans instal·lacions encara s'ha de millorar.

Per acabar, es vol comentar que des d'un principi s'ha intentat elaborar un projecte el més realista possible, justificant cada elecció mitjançant llibres, revistes especialitzades, blogs de professionals en el tema, etc., però hi han hagut aspectes que escapen de les capacitats de l'autor. Concretament, s'han hagut de fer suposicions sobre la constitució exacta dels tancaments (l'empresa constructora ha desaparegut) mitjançant els plànols i comentaris dels responsables del centre, i per culpa de la manca de formació en el disseny de circuits hidràulics no ha estat possible fer un projecte completament fiable tant en l'aspecte tècnic com en l'econòmic. Tot i això, totes les eines utilitzades sí que provenen de fonts fiables i contrastades (apunts del grau, publicacions tècniques, ...).

Agraïments

Primerament, he d'agrair tot el suport que he rebut per part de la meva família no només durant l'elaboració d'aquest treball sinó també al llarg de tota la carrera. Han estat 4 anys molt durs que sense la meva mare, el meu pare i el meu germà no hauria pogut superar.

També he de donar les gràcies al meu tutor Lluís Albert Bonals Muntada per orientar-me al llarg d'aquest treball i haver estat clau en els punts més delicats d'aquest; sobretot a l'hora d'explicar-me com plantejar els càlculs, on s'ha vist el gran professor que és.

I per últim agrair als responsables de les instal·lacions tota la informació que m'han proporcionat; especialment a la gerent Montse, i a l'enginyer industrial Josep Miquel Arandes i Salvadó el qual em va proporcionar els plànols i molta més informació de les instal·lacions facilitant-me moltíssim la recerca d'informació.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] BONALS MUNTADA, LLUIS ALBERT. *Transferència de calor (apunts de classe)*. ETSEIB, UPC, versió del 2016.
- [2] Departament de motors i màquines tèrmics, *Càlcul del coeficient de transmissió de calor K de tancaments*, UPV, 2010.
[<http://www.ehu.eus/mmtde/materiala/aislamtoedificios/PDF/Documentos/3CALCULO.pdf>]
- [3] JUAN FRANCISCO CORONEL TORO, LUÍS PÉREZ-LOMBARD MARTÍN DE OLIVA, *Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de transmisión de calor*, Universitat de Sevilla, 2016.

[http://www.esi2.us.es/~jfc/Descargas/TC/Coleccion_tablas_graficas_TC.pdf]
- [4] MITJÀ i SARVISÉ, ALBERT. *L'energia a les instal·lacions esportives*. Barcelona, Generalitat de Catalunya, 1998.

Bibliografia complementària

-Informació sobre la Zona Esportiva d'Hospitalet de l'Infant i la Zona Esportiva Àster.

<http://www.vandellos-hospitalet.cat/%C3%A0rees-tem%C3%A0tiques/esports/installacions/zona-esportiva-hospitalet>

<http://www.vandellos-hospitalet.cat/%C3%A0rees-tem%C3%A0tiques/esports/installacions/zona-esportiva-hospitalet/zona-esportiva-%C3%A0ster>

-Situació de les instal·lacions (Google Maps).

<https://www.google.es/maps/@40.9915412,0.9145998,223m/data=!3m1!1e3>

-Dades sobre la radiació solar.

<http://www.adrase.com/>

-Dades climatològiques de l'Hospitalet de l'Infant.

<https://es.climate-data.org/location/285800/>



-Horaris de la piscina municipal de l'Hospitalet de l'Infant.

<http://www.vandellos-hospitalet.cat/sites/default/files/tots/esports/2015/NOU%20HORARI.pdf>

-Explicació de l'orientació de les façanes (eina Universitat Nebraska-Lincoln).

<http://astro.unl.edu/naap/motion3/animations/sunmotions.html>

-Informació sobre panells prefabricats.

http://www.tectonica-online.com/productos/94/expandido_poliestireno_aislamiento/#

<https://st1.tecnyconta.es/wp-content/uploads/2017/01/Catalogo-Cerramientos.pdf>

-Catàleg Elements Constructius del CTE (Codi Tècnic Edificació).

https://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=14&ved=0ahUKEwiVtIG A3a_XAhWCuhQKHS0LDboQFghjMA0&url=http%3A%2F%2Fwww.unav.edu%2Fdepartamento%2FSAT%2FEDIF_CTE%2FAplicaciones%2FCAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf&usq=AOvVaw2LWlaCm-SNdzCJ3vHjiusN

-Justificació dels valors de h_i i h_e escollits.

<http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/ambiente/antesol/TESIS/Cap4.pdf>

-Normativa sobre la temperatura ambiental i de l'aigua de les piscines cobertes.

<http://blog.drmiguelangelgallovallejo.com/wp-content/uploads/2012/02/La-temperatura-del-agua-de-las-piscinas-cubiertas.pdf>

-Humitat absoluta en saturació en funció de la temperatura.

<https://es.slideshare.net/aicvigo1973/humedad-y-presion-absoluta-relativa-tabla-de-saturacion-diagrama-sicromtrico>

.Normativa sobre la legionel·la.

http://webs.ono.com/aniorte_nic/archivos/Legionella_6.pdf

-Emissivitat de diversos materials.

<https://es.axiomet.eu/page/1346/Factores-de-emisividad--su-influencia-en-la-medicion-de-la-temperatura-es>

<http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm>

[-https://grupoestisol.com/wp-content/themes/estisol/documentos/ManualPracticoDeIEPS-interactivo-ENCRIPADO.pdf](https://grupoestisol.com/wp-content/themes/estisol/documentos/ManualPracticoDeIEPS-interactivo-ENCRIPADO.pdf)

-Mètode f-chart.

<http://konstruir.com/C.T.E/HE-4-Contribucion-solar-minima-de-agua-caliente-sanitaria/Metodo%20F-Chart.pdf>

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5194/fichero/3.M%C3%89TODOS+DE+C%C3%81LCULO.pdf>

-Hores de sol a l'Hospitalet de l'Infant.

https://www.citipedia.info/city/sunriseandsunset/Spain_Prov%C3%ADncia+de+Tarragona_I%27Hospitalet+de+l%27Infant_id_3120620_lang_es

-Informació sobre instal·lacions solars tèrmiques utilitzada al punt 6.1.

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20148/fichero/PFC+Juan+Ram%C3%B3n+de+la+Cuesta+Corado.pdf>

https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_t%C3%A9rmica

https://es.wikipedia.org/wiki/Panel_solar_de_tubos_de_vac%C3%ADo

<http://www.sitiosolar.com/los-colectores-solares-de-tubo-de-vacio/>

<https://aiguasol.coop/es/disenio-de-sistemas-solares-termicos-con-transol/>

https://es.wikipedia.org/wiki/Central_solar_de_torre_central

<https://solar-energia.net/energia-solar-termica/alta-temperatura>

<http://www.energiasolar.lat/colector-solar-plano/>

-Model escollit de captador (tarifes 2017).

http://www.roth-spain.com/es/files/005%20-%20Roth-Spain/Tarifa-Catalogo_Roth_Energia_solar_termica.pdf

-Explicació sobre l'aplicació de l'IVA al 8%.

<https://suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=9531>

-Cost kWh del GN (2017, tarifa 3.4 Gas Natural Fenosa).



<https://preciogas.com/tarifas/gas-natural-fenosa/3-4>

-Ajuts per a projectes d'ens locals que afavoreixin el pas a una economia baixa en carboni (programa FEDER).

<http://icaen.gencat.cat/ca/energia/ajuts/ministeri-denergia-turisme-i-agenda-digital-ajuts-per-a-projectes-dens-locales-que-afavoreixin-el-pas-a-una-economia-baixa-en-carboni/>

<http://www.boe.es/boe/dias/2017/06/17/pdfs/BOE-A-2017-6897.pdf>

-Emissions GN.

<http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>

<http://www.f2e.es/es/gas-natural-butano-electricidad-propano-y-gasoleo-que-energia-emite-mas-co2>

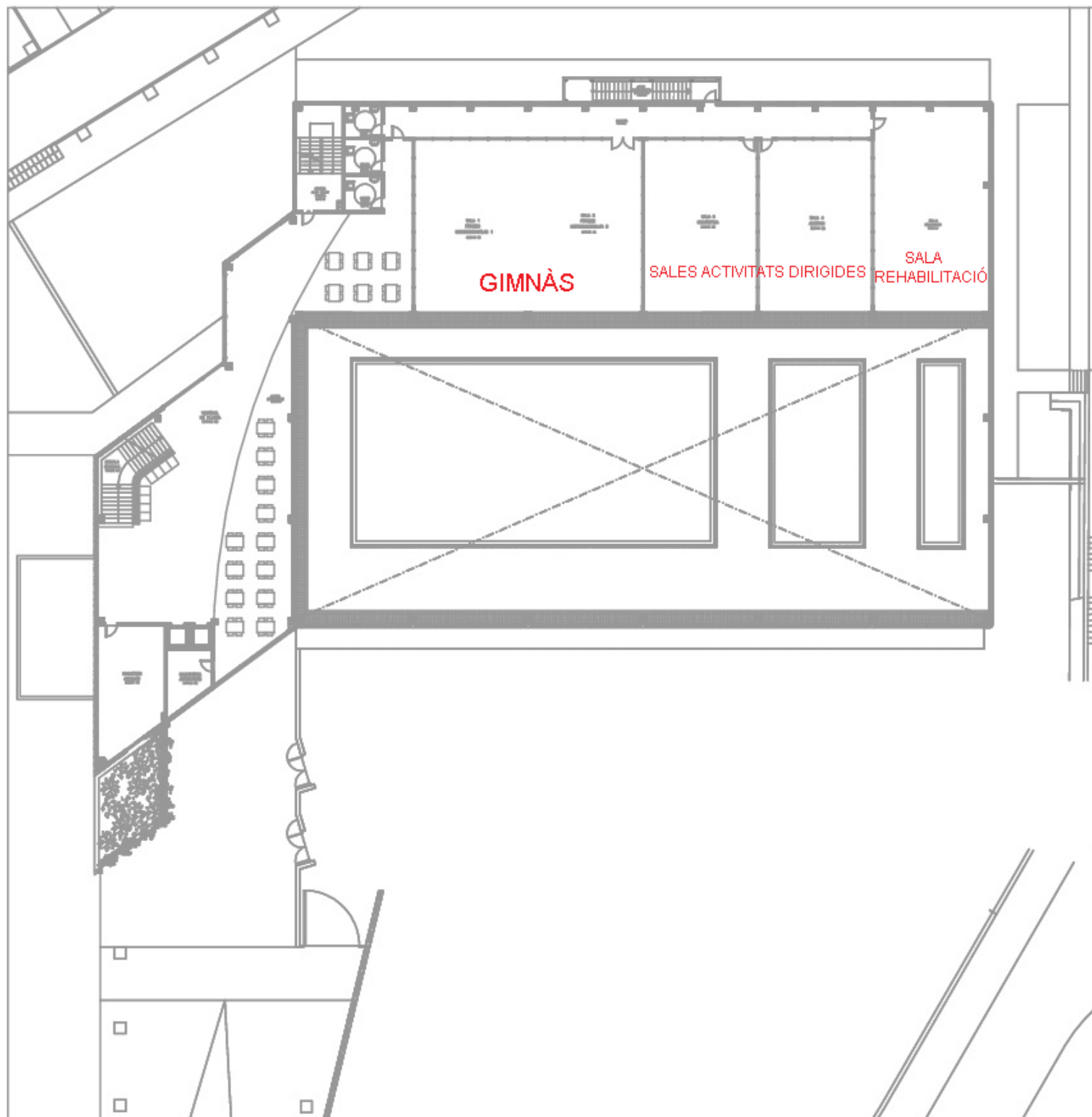
<http://www.minetad.gob.es/energia/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx>

-Publicacions relacionades i consultades.

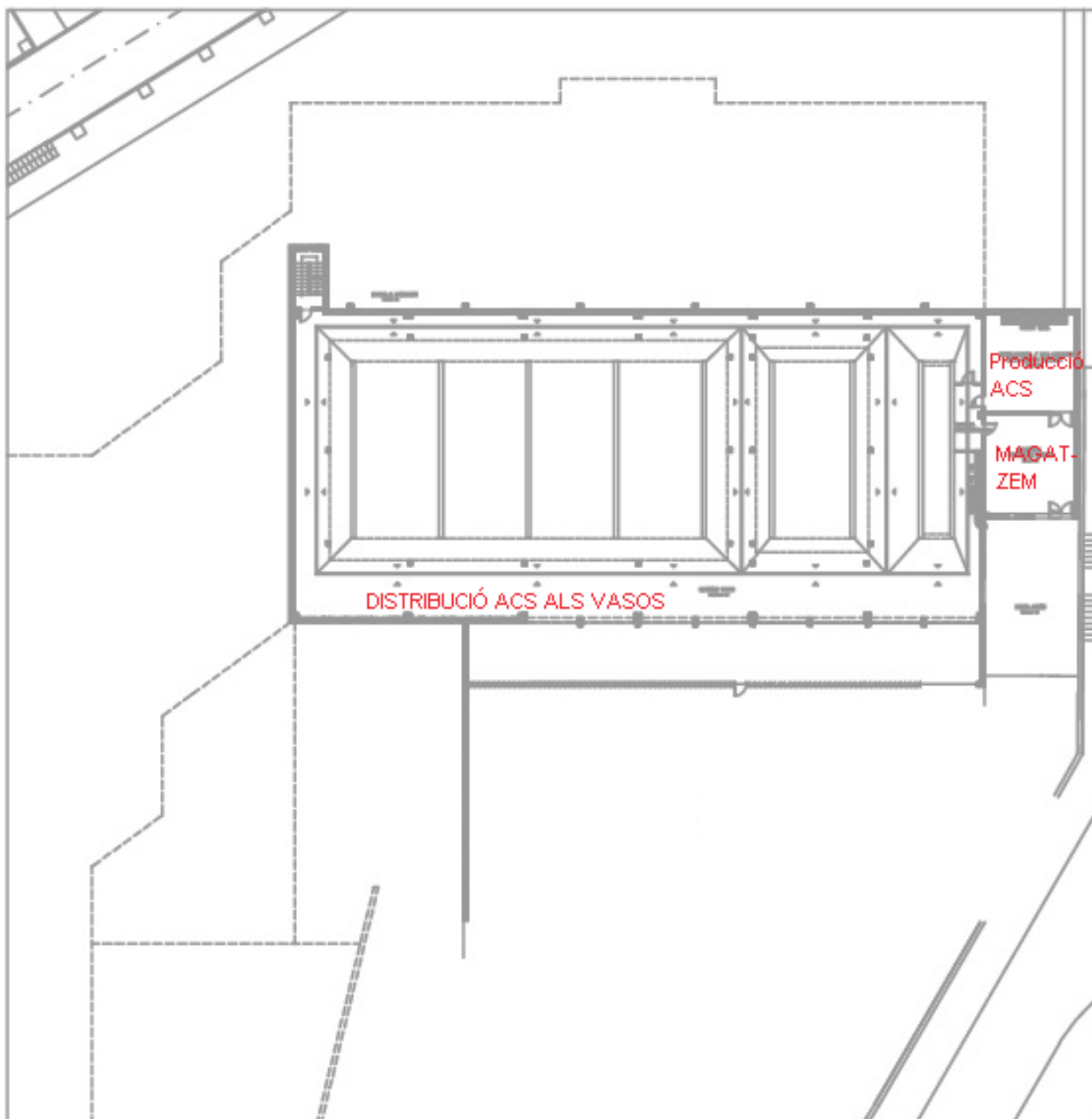
PUJOL PARALS, JORDI. *Estudi de climatització i producció d'aigua calenta sanitària d'una piscina municipal coberta aplicant criteris d'estalvi energètic: bomba de calor i energia solar tèrmica*. (TFC), ETSEIB, 2004.

ANNEXES

Annex 1: Plànol de la planta superior

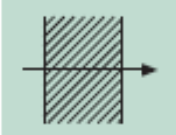
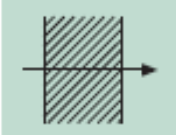
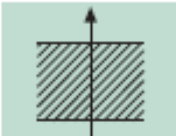
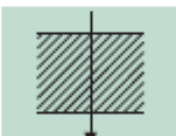


Annex 2: Plànol del soterrani



Annex 3: Valors de $1/h_i$ i $1/h_e$ en funció de la posició i situació del tancament i del sentit del flux de calor (font: NBE-CT-79, annexes 2 i 3)

Tabla 2.1

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Situación del cerramiento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal		0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)

Resistencias térmicas superficiales en $\text{m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}/\text{kcal}$ ($\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$)

Annex 4: Càlcul de pèrdues per evaporació

Les equacions utilitzades són:

$$Me = S \cdot [(16 + 133 \cdot n) \cdot (We - HR \cdot Was)] + 0,1 \cdot N \quad [\text{Kg/h}] \quad (4)$$

$$qe = Me \cdot Lvap \quad [\text{W}] \quad (5)$$

On:

S = superfície del vas [m²]

n = número de nedadors per m²

W_e = humitat absoluta de l'aire saturat a temperatura de l'aigua [Kg aigua/Kg aire]

HR = humitat relativa de l'aire

W_{as} = humitat absoluta de l'aire saturat a temperatura de l'aire interior [Kg aigua/Kg aire]

L_{vap} = calor de vaporització de l'aigua en funció de la temperatura de l'aigua [W·h/Kg]

N = número de espectadors (s'ha considerat 0 a l'hora de calcular les pèrdues)

El coeficient 16 fa referència a quan la piscina està sense agitar, i el 133 a quan està agitada.

La massa d'aigua evaporada per hora, essent 1 el vas gran, 2 el mitjà i 3 el petit:

$$Me1 = 312,5 \cdot \left[\left(16 + 133 \cdot \frac{27}{312,5} \right) \cdot (0,02 - 0,65 \cdot 0,027) \right] + 0,1 \cdot 0 = 21,05 \text{ Kg/h}$$

$$Me2 = 75 \cdot \left[\left(16 + 133 \cdot \frac{22}{75} \right) \cdot (0,027 - 0,65 \cdot 0,027) \right] + 0,1 \cdot 0 = 39 \text{ Kg/h}$$

$$Me3 = 37,5 \cdot \left[\left(16 + 133 \cdot \frac{5}{37,5} \right) \cdot (0,03 - 0,65 \cdot 0,027) \right] + 0,1 \cdot 0 = 15,75 \text{ Kg/h}$$

I les pèrdues, essent 1 el vas gran, 2 el mitjà i 3 el petit:

$$qe1 = 21,05 \cdot 678,33 = 14.279 \text{ W}$$

$$qe2 = 39 \cdot 675 = 26.325 \text{ W}$$

$$qe3 = 15,75 \cdot 673,67 = 10.610 \text{ W}$$

$$qeTOT = \sum_{i=1}^3 qei = 51.214 \text{ W}$$

Annex 5: Pèrdues per conducció i convecció pels murs i soleres

Les equacions utilitzades són:

$$q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_t} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{\lambda \cdot A}} \quad [W] \quad (6)$$

$$q_{conv} = h \cdot A (T_{superfície} - T_{fluid}) \quad [W] \quad (7)$$

On:

$T_1 - T_2$: és la diferència de temperatures entre les dues superfícies per on passa el flux de potència [$^{\circ}\text{C}$ o K]

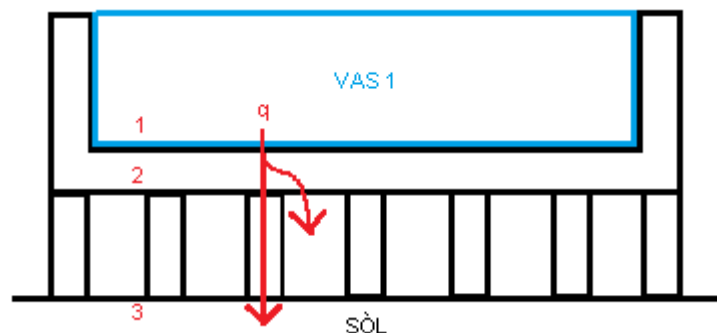
R_t : resistència tèrmica de la paret per on passa el flux [K/W o $^{\circ}\text{C/W}$]

h : coeficient de convecció superficial de la superfície que bescanvia calor amb el fluid. En el nostre cas, el fluid serà aire o aigua [$\text{W/K} \cdot \text{m}^2$]

A : àrea de la superfície que bescanvia calor amb el fluid [m^2]

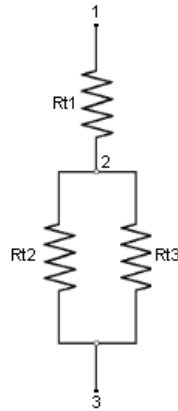
Vas 1:

En l'esquema següent podem veure com el flux de potència va de l'aigua al sòl i les superfícies considerades als càlculs:



La superfície 1 correspon a tota la cara interior del vas, la 2 a la cara exterior i la 3 al sòl.

Per facilitar els càlculs, s'han suposat els dos camins indicats. Un camí serà totes les soleres juntes en un sol bloc, i l'aire entre aquestes soleres formarà un altre bloc. S'ha utilitzat el símbol elèctric per facilitar la comprensió:



R_{t1} és la resistència tèrmica que suposa el gruix de la paret del vas, R_{t2} és la resistència tèrmica del conjunt de les set soleres i R_{t3} és la resistència tèrmica de l'aire.

Les dades utilitzades són: $A_{\text{vas1}} = 462,5 \text{ m}^2$, $T_3 = 8^\circ\text{C}$, $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i les mesures obtingudes dels plànols.

Les equacions plantejades són:

$$q_{1 \rightarrow 3} = q_{2 \rightarrow 3A} + q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{25 - T_2}{\frac{0,2}{1,32 \cdot 462,5}}$$

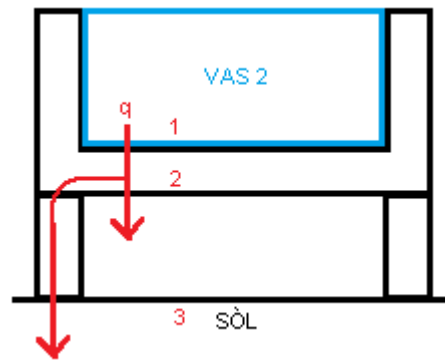
$$q_{2 \rightarrow 3A} = \frac{T_2 - 8}{\frac{1}{1,32 \cdot 0,2 \cdot 12,5 \cdot 7}}$$

$$q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{T_2 - T_{\text{aire}}}{\frac{1}{20 \cdot 3,9 \cdot 12,5 \cdot 6}} = \frac{T_{\text{aire}} - 8}{\frac{1}{20 \cdot 3,9 \cdot 12,5 \cdot 6}} = \frac{T_2 - 8}{\frac{2}{20 \cdot 3,9 \cdot 12,5 \cdot 6}}$$

Resolent el sistema s'obté una $q_{1 \rightarrow 3} = 25.495 \text{ W}$ i una $T_2 = 16,65^\circ\text{C}$.

Vas 2:

En l'esquema següent podem veure com el flux de potència va de l'aigua al sòl i les superfícies considerades als càlculs:



La superfície 1 correspon a tota la cara interior del vas, la 2 a la cara exterior i la 3 al sol.

Com en el cas anterior, s'han considerat dos camins per on passa el flux de potència calorífica. Es pot utilitzar el mateix símil elèctric anterior, l'únic que canvia és el càlcul de la R_{12} i R_{13} . R_{11} continua sent la resistència tèrmica que suposa el gruix de la paret del vas.

Les dades utilitzades són: $A_{\text{vas}2} = 119,4 \text{ m}^2$, $T_3 = 8^\circ\text{C}$, $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i les mesures obtingudes dels plànols.

Les equacions plantejades són:

$$q_{1 \rightarrow 3} = q_{2 \rightarrow 3A} + q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{30 - T_2}{\frac{0,2}{1,32 \cdot 119,4}}$$

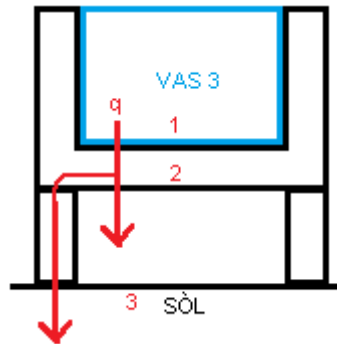
$$q_{2 \rightarrow 3A} = \frac{T_2 - 8}{\frac{1,8}{1,32 \cdot 0,2 \cdot 12,5 \cdot 2}}$$

$$q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{T_2 - T_{\text{aire}}}{\frac{1}{20 \cdot 5,6 \cdot 12,5}} = \frac{T_{\text{aire}} - 8}{\frac{1}{20 \cdot 5,6 \cdot 12,5}} = \frac{T_2 - 8}{\frac{2}{20 \cdot 5,6 \cdot 12,5}}$$

Resolent el sistema s'obté una $q_{1 \rightarrow 3} = 8.178 \text{ W}$ i una $T_2 = 19,62^\circ\text{C}$.

Vas 3:

En l'esquema següent podem veure com el flux de potència va de l'aigua al sol i les superfícies considerades als càlculs:



La superfície 1 correspon a tota la cara interior del vas, la 2 a la cara exterior i la 3 al sòl.

Com en el cas anterior, s'han considerat dos camins per on passa el flux de potència calorífica. Es pot utilitzar el mateix símil elèctric anterior, l'únic que canvia és el càlcul de la R_{12} i R_{13} . R_{11} continua sent la resistència tèrmica que suposa el gruix de la paret del vas.

Les dades utilitzades són: $A_{\text{vas3}} = 74,7 \text{ m}^2$, $T_3 = 8^\circ\text{C}$, $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ i les mesures obtingudes dels plànols.

Les equacions plantejades són:

$$q_{1 \rightarrow 3} = q_{2 \rightarrow 3A} + q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{32 - T_2}{\frac{0,2}{1,32 \cdot 74,7}}$$

$$q_{2 \rightarrow 3A} = \frac{T_2 - 8}{\frac{1,8}{1,32 \cdot 0,2 \cdot 12,5 \cdot 2}}$$

$$q_{2 \rightarrow 3B} = \frac{T_2 - T_{\text{aire}}}{\frac{1}{20 \cdot 2,6 \cdot 12,5}} = \frac{T_{\text{aire}} - 8}{\frac{1}{20 \cdot 2,6 \cdot 12,5}} = \frac{T_2 - 8}{\frac{2}{20 \cdot 2,6 \cdot 12,5}}$$

Resolvent el sistema s'obté una $q_{1 \rightarrow 3} = 4.733 \text{ W}$ i una $T_2 = 22,4^\circ\text{C}$.

Sumant tot l'obtingut: $q = 38.406 \text{ W}$. Aquest és el resultat que s'utilitzarà.

	Vas 1	Vas 2	Vas 3	Total
$q_{\text{conv i cond}}$	25.495	8.178	4.733	38.406

A continuació es presenten els resultats obtinguts utilitzant el mètode proposat al llibre de l'Albert Mijtà i Servisé. Es plantegen les següents equacions:

$$Q = \frac{K \cdot S_{sp} \cdot (T_{aigua} - T_{ext})}{S} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$T_{ext} = 0,4 \cdot T_{interior \text{ local}} + 0,6 T_{ambient \text{ exterior}} \text{ [}^{\circ}\text{C o K]}$$

On:

K: coeficient de transmissió dels murs i soleres [W/K o W/°C]

S_{sp}: superfície de les parets i les soleres [m²]

T_{aigua}: temperatura de l'aigua del vas [K o °C]

T_{ambient exterior}: temperatura ambiental exterior [K o °C]

S: superfície del vas [m²]

Les dades utilitzades són: K_{formigó} = 6,6 W/°C, T_{int} = 25 °C, T_{ambient exterior} = 6 °C, S_{sp1} = 764,38 m², S_{sp2} = 236,9 m² i S_{sp3} = 152,2 m².

L'obtingut ha estat: T_{ext} = 13,6 °C i la taula següent:

	Vas 1	Vas 2	Vas 3	Total
q [W]	57.512	25.642	18.483	101.637

Annex 6: Pèrdues per convecció amb l'aire interior

La fórmula utilitzada és la (7), ja introduïda:

$$q_{conv} = h \cdot A (T_{superfície} - T_{fluid}) \quad [W] \quad (7)$$

Les dades utilitzades han estat: $h = 20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $T_{fluid} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{sup.1} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{sup.2} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{sup.3} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$, $A_1 = 312,5 \text{ m}^2$, $A_2 = 75 \text{ m}^2$ i $A_3 = 37,5 \text{ m}^2$. Els resultats obtinguts són:

$q_{conv1} = 20 \cdot 312,5 (25 - 30) = -31.250 \text{ W}$ (el vas gran rep potència calorífica de l'aire interior).

$q_{conv2} = 20 \cdot 75 (32 - 30) = 0 \text{ W}$ (el vas mitjà no rep ni perd potència calorífica per convecció amb l'aire interior).

$q_{conv3} = 20 \cdot 37,5 (32 - 30) = 1.500 \text{ W}$ (el vas petit perd potència calorífica).

Per tant, hi ha un guany global de 29.750 W.

Annex 7: Pèrdues per renovació de l'aigua dels vasos

Per calcular aquestes pèrdues s'han utilitzat les equacions següents:

$$q_{ren} = Q_{ren} \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{aigua} - T_{xarxa}) \quad [W] \quad (8)$$

On:

Q_{ren} : cabal de renovació [m^3/h]

ρ : densitat de l'aigua a la temperatura del vas. S'ha considerat aigua pura, sense additius (la variació és mínima) [Kg/m^3]

C_p : calor específic de l'aigua a la temperatura del vas. S'ha considerat aigua pura, sense additius (la variació és mínima) [$W \cdot h / Kg \cdot K$]

T_{aigua} : temperatura de l'aigua del vas [$^{\circ}C$ o K]

T_{xarxa} : temperatura de l'aigua provinent de la xarxa de distribució pública [$^{\circ}C$ o K]

Les dades utilitzades estan especificades en la següent taula. Les dades sobre la densitat i calor específic s'han obtingut d'unes taules de l'Universitat de Sevilla:

	ρ [Kg/m^3]	C_p [$J/Kg \cdot K$]	C_p [$W \cdot h / Kg \cdot K$]	Q_{ren} [m^3/h]
Vas 1	997,9	4,176	1,16	1,302
Vas 2	996,2	4,175	1,1597	0,1875
Vas 3	995,52	4,1746	1,1596	0,094

La temperatura de la xarxa s'ha pres de 6 $^{\circ}C$:

Mes	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Des
T^a xarxa [$^{\circ}C$]	6	7	9	11	12	13	14	13	12	11	9	6

El desenvolupament de les equacions és el següent:

$$q_{ren1} = 1,302 \cdot 997,9 \cdot 1,16 \cdot (25 - 6) = 28.638 \text{ W}$$

$$q_{ren2} = 0,1875 \cdot 996,2 \cdot 1,1597 \cdot (30 - 6) = 5.199 \text{ W}$$

$$q_{ren3} = 0,094 \cdot 995,52 \cdot 1,1596 \cdot (32 - 6) = 2.814 \text{ W}$$

Tenim unes pèrdues globals per renovació de l'aigua dels vasos de 36.651 W.

	Vas 1	Vas 2	Vas 3	Total
$q_{ren} [W]$	28.638	5.199	2.814	36.651

Annex 8: Pèrdues per radiació

La fórmula original utilitzada és:

$$q = \sum_{k=1}^{Nb} \frac{\sigma \cdot T_2^4 \cdot \Delta F_2^k - \sigma \cdot T_1^4 \cdot \Delta F_1^k}{\frac{1}{A_1 \cdot \varepsilon_1^k} + \frac{1}{A_2 \cdot \varepsilon_2^k} - \frac{1}{A_2}} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

On:

σ : constant de Stefan-Boltzman, de valor $5,67\text{E-}8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

ΔF_i^k : funció de radiació de la superfície i en la banda k de longituds d'ona

T_i : temperatura de la superfície i [K]

A_i : àrea de la superfície i [m^2]

ε_i^k : emissivitat de la superfície i en la banda k

Després d'aplicar les simplificacions explicades, ens queda el següent:

$$q = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{A_1 \cdot \varepsilon_1} + \frac{1}{A_2 \cdot \varepsilon_2} - \frac{1}{A_2}} \quad [\text{W}] \quad (9)$$

Primerament s'explicarà com s'ha trobat la T_2 , utilitzant les equacions (6), (7) i (10):

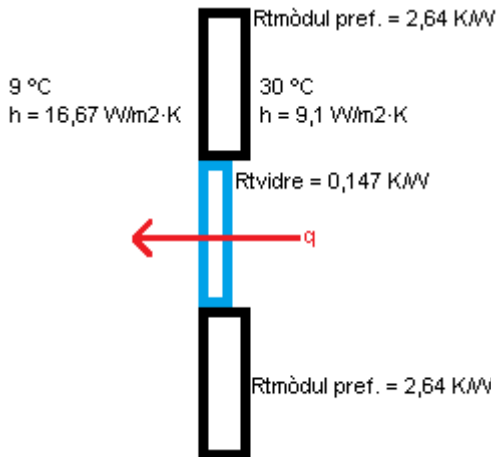
$$q_{cond} = \frac{T_1 - T_2}{R_t} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{L}{\lambda \cdot A}} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

$$q_{conv} = h \cdot A (T_{superfície} - T_{fluid}) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

$$(A_{vidre FSUD} + A_{mòdul pref FSUD}) \cdot T_{FSUD} + (A_{vidre FEST} + A_{formigó FEST}) \cdot T_{FEST} + A_{cob} \cdot T_{cob} + (A_{vidre altres} + A_{formigó altres}) \cdot T_{altres} = A_{total} \cdot T_2 \quad (10)$$

Amb les equacions (6) i (7) s'han realitzat balanços de potència a les façanes sud i est, a la coberta i a la paret en contacte amb altres zones de les instal·lacions per trobar la temperatura de cadascun dels tancaments:

- Façana sud:

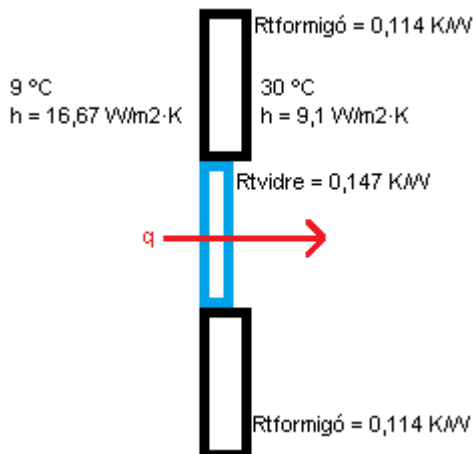


S'ha de ressaltar que trobem tres resistències tèrmiques en paral·lel, utilitzant el símil elèctric es calcula la resistència equivalent.

$$q = \frac{30 - T_{FSUD}}{\frac{1}{9,1 \cdot 255,25}}$$

$$= \frac{30 - 9}{\frac{1}{9,1 \cdot 255,25} + \left[\left(\frac{0,147}{136,8} \right)^{-1} + \left(\frac{2,64}{118,45} \right)^{-1} \right]^{-1} + \frac{1}{16,67 \cdot 255,25}}$$

- Façana est:

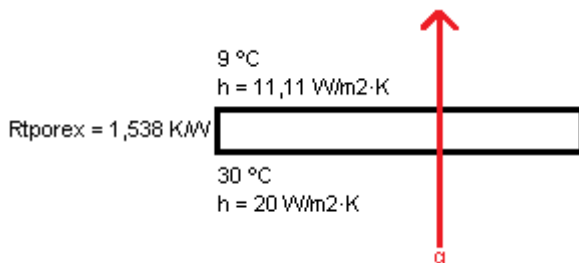


Com abans, trobem tres resistències tèrmiques en paral·lel, utilitzant el símil elèctric es calcula la resistència equivalent.

$$q = \frac{30 - T_{FEST}}{\frac{1}{9,1 \cdot 152,83}}$$

$$= \frac{30 - 9}{\frac{1}{9,1 \cdot 152,83} + \left[\left(\frac{0,147}{21,78} \right)^{-1} + \left(\frac{0,114}{131,05} \right)^{-1} \right]^{-1} + \frac{1}{16,67 \cdot 152,83}}$$

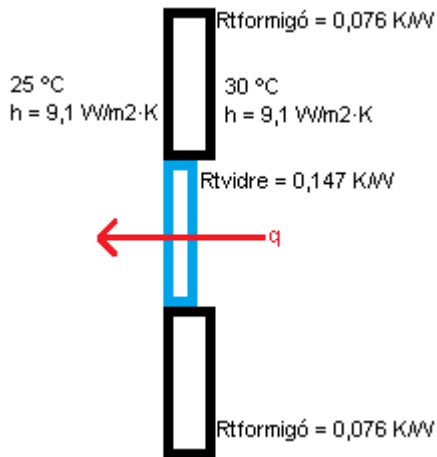
- Coberta:



En aquest tancament no trobem resistències tèrmiques en paral·lel.

$$q = \frac{30 - T_{cob}}{\frac{1}{11,11 \cdot 1033,62}} = \frac{30 - 9}{\frac{1}{11,11 \cdot 1033,62} + \frac{1,538}{1033,62} + \frac{1}{20 \cdot 1033,62}}$$

- Paret en contacte amb altres zones:



Com abans, trobem tres resistències tèrmiques en paral·lel, utilitzant el símil elèctric es calcula la resistència equivalent.

$$q = \frac{30 - T_{altres}}{\frac{1}{9,1 \cdot 125,51}} = \frac{30 - 25}{\frac{1}{9,1 \cdot 125,51} + \left[\left(\frac{0,147}{58,8} \right)^{-1} + \left(\frac{0,076}{66,71} \right)^{-1} \right]^{-1} + \frac{1}{9,1 \cdot 125,51}}$$

$$T_{altres} = 28,27 \text{ °C}$$

En la taula següent

s'especifica l'emissivitat i la temperatura trobada de cada superfície:

Paret	Temperatura superfície [°C]	Emissivitat
Façana sud	24,65	0,95 i 0,95
Façana est	21,98	0,95 i 0,95
Coberta	28,87	0,9
Paret contacte altres sup.	28,27	0,95 i 0,95

L'equació (10) queda:

$$(136,8 + 118,45) \cdot 24,65 + (21,78 + 131,05) \cdot 21,98 + 1033,62 \cdot 28,87 + (58,8 + 66,71) \cdot 28,27 = 1567,21 \cdot T_2$$

I obtenim una $T_2 = 27,46 \text{ °C} = 300,46 \text{ K}$. S'ha suposat, tal com s'ha explicat anteriorment, una $\epsilon_2 = 0,92$ i una $\epsilon_{aigua} = 0,94$.

El desenvolupament de l'equació (9) per cada vas:

$$q_1 = \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (300,46^4 - 298^4)}{\frac{1}{312,5 \cdot 0,94} + \left(\frac{1}{1567,21 \cdot 0,92} \right) - \left(\frac{1}{1567,21} \right)} = 4.321 \text{ W (el vas 1 rep aquesta potència)}$$

$$q_2 = \frac{5,67E-8 \cdot (300,46^4 - 303^4)}{\frac{1}{75 \cdot 0,94} + \left(\frac{1}{1567,21 \cdot 0,92}\right) - \left(\frac{1}{1567,21}\right)} = -1.111 \text{ W (el vas 2 perd aquesta potència)}$$

$$q_3 = \frac{5,67E-8 \cdot (300,46^4 - 305^4)}{\frac{1}{37,5 \cdot 0,94} + \left(\frac{1}{1567,21 \cdot 0,92}\right) - \left(\frac{1}{1567,21}\right)} = -1.005 \text{ W (el vas 3 perd aquesta potència)}$$

Com a resultat global, hi ha un guany per radiació de 2.205 W.

	Vas 1	Vas 2	Vas 3	Total
$q_{\text{rad}} [\text{W}]$	4.321	-1.111	-1.005	2.205

També s'han calculat aquestes pèrdues mitjançant el mètode proposat al llibre de l'Albert Mitjà i Servisé. Aquest mètode introdueix les següents equacions:

$$q_r = \sigma \cdot \varepsilon_{\text{aigua}} \cdot (T_{\text{aigua}}^4 - T_s^4) [\text{W/m}^2]$$

$$T_s = T_{\text{aigua}} - \frac{K}{h} \cdot (T_{\text{ambient interior}} - T_{\text{ambient exterior}}) [\text{K o } ^\circ\text{C}]$$

On:

σ : constant de Stefan-Boltzman, de valor $5,67E-8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$\varepsilon_{\text{aigua}}$ = emissivitat de l'aigua; 0,95

T_{aigua} = temperatura de l'aigua [K]

T_s = temperatura de la superfície que forma el tancament [K]

T_a = temperatura de l'ambient interior [$^\circ\text{C}$ o K]

T_e = temperatura exterior [$^\circ\text{C}$ o K]

K = coeficient de transmissió de calor del tancament [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

h = coeficient superficial de transmissió de calor [$\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

Primerament s'ha aplicat el mètode calculant la temperatura de superfície amb l'equació proposada. S'ha calculat per cada vas i després s'ha fet una mitja dels resultats obtinguts:

- Vas gran:

- $T_{FSUD} = 25 - (6,82 + 0,379) \cdot \left(\frac{0,112 \cdot 136,8 + 0,095 \cdot 118,45}{255,25} \right) \cdot (30 - 9) = 9,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{FEST} = 25 - (8,8 + 6,82) \cdot \left(\frac{0,112 \cdot 21,78 + 0,095 \cdot 131,05}{152,83} \right) \cdot (30 - 9) = -6,96 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{cob} = 25 - 0,65 \cdot 0,09 \cdot (30 - 9) = 23,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{altres} = 25 - (13,2 + 6,82) \cdot \left(\frac{0,112 \cdot 58,8 + 0,095 \cdot 66,71}{125,51} \right) \cdot (30 - 9) = -18,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vas mitjà:
- $T_{FSUD} = 14,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{FEST} = -4,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{cob} = 28,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{altres} = -13,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Vas petit:
- $T_{FSUD} = 16,26 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{FEST} = 0,0434 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{cob} = 30,77 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 - $T_{altres} = -11,29 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Mitja dels vasos:
- $T_{FSUD} = 13,26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 286,26 \text{ K}$
 - $T_{FEST} = -3,69 \text{ }^{\circ}\text{C} = 269,31 \text{ K}$
 - $T_{cob} = 27,77 \text{ }^{\circ}\text{C} = 300,77 \text{ K}$
 - $T_{altres} = -14,29 \text{ }^{\circ}\text{C} = 258,71 \text{ K}$

Comparant amb el mètode proposat al llibre de Termodinàmica, sembla que aquest mètode només serveix quan els tancaments estan compostats d'un sol material, ja que en el cas de la coberta s'han obtingut temperatures semblants. A continuació es presenten els resultats obtinguts (si el resultat és en negatiu, el vas rep potència calorífica del tancament):

	Vas 1	Vas 2	Vas 3
$q_{FSUD} [\text{W/m}^2]$	63,09	92,32	104,43
$q_{FEST} [\text{W/m}^2]$	141,44	170,68	182,78
$q_{cob} [\text{W/m}^2]$	-16,02	13,22	25,33
$q_{altres} [\text{W/m}^2]$	183,49	212,72	224,83
$q_{total} [\text{W/m}^2]$	372	488,94	537,37

En total, es perden 173.072 W per radiació segons aquest mètode.

Degut als resultats anòmals de les temperatures (en dos tancaments trobem que són negatives), s'ha provat també utilitzant només la primera equació i fixant la T_s segons el trobat amb el mètode escollit, $T_s = 27,46\text{ }^{\circ}\text{C} = 300,46\text{ K}$:

	Vas 1	Vas 2	Vas 3
$q_{\text{FSUD}} [\text{W/m}^2]$	1,99	31,23	43,33
$q_{\text{FEST}} [\text{W/m}^2]$	16,96	46,19	58,3
$q_{\text{cob}} [\text{W/m}^2]$	-22,5	6,74	18,84
$q_{\text{altres}} [\text{W/m}^2]$	-18,95	10,28	22,39
$q_{\text{total}} [\text{W/m}^2]$	-22,5	94,44	142,86

En total, es perden 5.409 W. És un número més aproximat al trobat amb el mètode de Termodinàmica, però també s'ha desestimat.

Annex 9: Fluxos de tresoreria de les dues solucions viables

Instal·lació amb 174 captadors:

Període	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Inversió inicial	106798,392	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estalvi combustible anual	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565
Flux tresoreria	-106798,392	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565
Flux tresoreria acumulat	-106798,392	-88743,5355	-70688,6789	-52633,8224	-34578,9658	-16524,1093	1530,74729	19585,6038	37640,4604	55695,3169	73750,1735	91805,03	109859,887	127914,743
	14	15	16	17	18	19	20							
	0	0	0	0	0	0	0							
	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565							
	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565	18054,8565							
	145969,6	164024,456	182079,313	200134,169	218189,026	236243,882	254298,739							

Instal·lació amb 180 captadors:

Període	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Inversió inicial	110419,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estalvi combustible anual	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133
Flux tresoreria	-110419,74	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133
Flux tresoreria acumulat	-110419,74	-91883,1267	-73346,5135	-54809,9002	-36273,2869	-17736,6736	799,939625	19336,5529	37873,1662	56409,7794	74946,3927	93483,006	112019,619	130556,233
	14	15	16	17	18	19	20							
	0	0	0	0	0	0	0							
	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133							
	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133	18536,6133							
	149092,846	167629,459	186166,072	204702,686	223239,299	241775,912	260312,525							